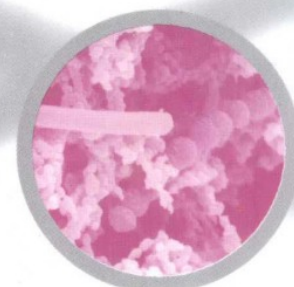


2010
INDUSTRIAL
BIOTECHNOLOGY
DEVELOPMENT
REPORT

2010

工业生物技术 发展报告

中国科学院生命科学与生物技术局 编著



科学出版社
www.sciencep.com

2010 工业生物技术的发展报告

2010 Industrial Biotechnology Development Report

中国科学院生命科学与生物技术局 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是基于工业生物技术知识环境出版的信息产品之一,主要报道了工业生物技术领域内的重大规划与政策、技术和产品的研发进展、产业发展等。为了能够全面了解工业生物技术发展的最新进展,本书设置了发展战略篇、研发进展篇和产业篇。在选题上,着重突出了工业生物技术领域的热点和前沿。为了突出各领域的技术进展并使内容更有层次感,本书在研发进展篇采用主题的形式组织稿件,重点报道了微生物资源、合成生物学、系统生物学、细胞工厂和微藻在工业生物技术领域中的研发进展等内容。为了扩大本报告的读者范围,使国外读者能了解中国工业生物技术的现状、产业情况,我们在形式上增加了英文题名、摘要,以及英文作者简介。此外,我们通过对2009年国内外工业生物技术领域重要事件的回顾,与读者一起梳理过去一年本领域发展的整体脉络。

本书可供相关科研院所、高等院校和企业等从事工业生物技术研究 and 开发工作的科研管理人员、科研工作者和研发生产人员借鉴与参考。

图书在版编目(CIP)数据

2010 工业生物技术的发展报告/中国科学院生命科学与生物技术局 编著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-028270-5

I. ①2… II. ①中… III. ①生物技术:工业技术-技术发展-研究报告-中国-2010 IV. ①Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 131946 号

责任编辑:罗 静 莫结胜/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

骏立印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 7 月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—2 000 字数:550 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

专家指导委员会

主 任 李家洋

副主任 杨胜利

委 员 (按姓氏拼音排序)

曹竹安	陈洪章	陈 进	甘荣兴	姜卫红
李旭东	马宏建	马树恒	马延和	欧阳平凯
秦 松	邱宏伟	苏荣辉	王梅祥	邢雪荣
许国旺	薛红卫	张成刚	张知彬	赵国屏

编辑委员会

主 编 马延和

副 主 编 苏荣辉 邢雪荣

责任编辑 (按姓氏拼音排序)

刘 斌 马俊才 于建荣

编写人员 (按姓氏拼音排序)

陈大明	陈 方	陈 坚	陈小滔	程 军
丛 威	邓 勇	方 翎	冯 雁	耿文华
郭艳梅	胡 政	花 强	贾红华	江洪波
金丽华	鞠建华	匡廷云	李彬春	李福利
李和平	李 寅	林章凇	刘 斌	刘海燕
刘立明	刘双江	龙丽娟	马 奔	马宏建
欧阳平凯	曲音波	孙际宾	孙建中	孙修炼
田宝玉	王冬梅	王慧媛	王剑青	王钱福
王士安	王志龙	韦 萍	邢新会	徐 健
徐 萍	严 兴	游文娟	于建荣	张长生
张 珺	张 磊	张 偲	张学礼	张延平
张永娟	张 宇	赵国屏	郑 平	钟建江
周文文	周志华	朱丽娟	朱林江	朱 岩
朱 阳	Stephen S. Fong			

编 者 按

中国科学院根据我国经济社会发展的需要，在知识创新工程三期中提出了“1+10”科技创新基地的战略布局。“先进工业生物技术创新基地”是其中之一。作为一个典型的知识型组织，基地针对科研活动、战略研究与知识管理的需求，开展“工业生物技术战略研究与知识环境建设”项目的研究。项目从调查研究、战略分析、知识库和知识环境建设，以及基地信息化管理等方面入手，结合基地中的项目管理，人才队伍建设，院企、院地合作等工作，集成工业生物技术研究与管理所需的各类信息资源，建立综合知识仓库、智能检索引擎和协同工作环境，管理组织的显性知识，并且积累、挖掘组织的隐性知识，努力为工业生物技术领域的科研和管理人员提供一个智能化的知识环境。

《工业生物技术发展报告》是中国科学院知识创新工程重要方向项目“工业生物技术战略研究与知识环境建设”推出的系列年度报告，是基于工业生物技术知识环境出版的信息产品之一，每年出版一册。

《2010 工业生物技术发展报告》是该系列报告的第四册。为了能够全面了解工业生物技术发展的最新进展，该报告设置了发展战略篇、研发进展篇和产业篇。在选题上，本报告着重突出了工业生物技术领域的热点和前沿。为了突出各领域的研发进展并使内容更有层次感，本报告在研发进展篇采用主题的形式组织稿件，重点报道了微生物资源、合成生物学、系统生物学、细胞工厂、微藻在工业生物技术领域中的研发进展、纤维素乙醇、工业生物技术新方法新技术，以及环境工业生物技术等内容。为了扩大本报告的读者范围，使国外读者能了解中国工业生物技术的现状、产业情况，我们在形式上增加了英文题名、摘要以及英文作者简介。此外，我们通过对 2009 年国内外工业生物技术领域重要事件的回顾，与读者一起梳理过去一年本领域发展的整体脉络。

《2010 工业生物技术发展报告》将服务于中国科学院的科研管理者和科研工作者，以及全国从事工业生物技术研究 and 开发的科研院所、高等院校和企业。本书博采专家之观点，从工业生物技术领域的重大政策规划、重要技术的发展情况，以及产业发展现状等几方面，阐释工业生物技术的现状和发展趋势，为广大读者提供借鉴和参考。

本书编者感谢各位专家、作者、组稿人在报告形成过程中付出的辛勤劳动，并对一直以来给予我们项目支持和领导的领导、专家，以及相关人士表示敬意！由于时间和水平有限，本书可能会有诸多不妥之处，恳请国内外同行专家和读者批评指正！

《2010 工业生物技术发展报告》编写组

2010 年 6 月

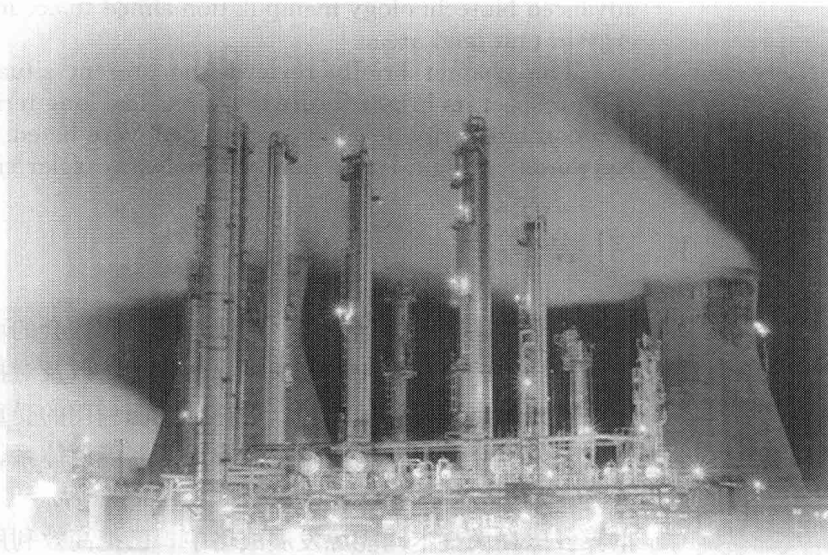
目 录

编者按

发展战略篇	(1)
非粮生物能源研发展望	(2)
甲烷经济：中国可持续未来之路	(10)
关于我国工业生物技术发展的思考	(18)
工业生物技术领域重大规划与项目	(28)
研发进展篇	(53)
主题一 微生物资源	(54)
微生物资源的开发利用技术	(55)
农业微生物资源的发掘和应用	(67)
环境微生物及环境生物技术：战略分析及对策	(72)
海洋微生物资源的开发和工业应用	(79)
主题二 合成生物学	(92)
合成生物学研究的发展及其在生物燃料研发中的应用	(93)
合成生物学：用模块化元件合成生物系统	(103)
主题三 系统生物学	(112)
实验室适应性进化的研究进展	(113)
阐释天然木质纤维素降解机制的系统生物学观点和方法	(123)
主题四 细胞工厂	(132)
黑曲霉作为细胞工厂：知识准备与技术基础	(133)
高效微生物细胞工厂的构建与优化	(147)
酵母作为重组蛋白表达的细胞工厂	(161)
主题五 微藻在工业生物技术领域中的应用	(169)
产油微藻种质资源的认识与改造	(170)
能源微藻大规模培养技术：现状与展望	(178)
微藻炼制生物柴油	(186)
主题六 纤维素乙醇	(194)
基于酶水解的木质纤维素乙醇生产技术的研发动态	(195)
白蚁生物系统在实现生物质高效转化中的独特科学价值及应用前景	(205)
发展抗逆性纤维素乙醇酿酒酵母菌株的方法和策略	(219)
主题七 工业生物技术新方法新技术	(230)
微生物生理功能工程	(231)
信号转导工程在工业和环境生物技术中的应用	(245)
酶理性设计的最新进展	(254)

萃取生物转化的浊点系统新技术平台	(263)
主题八 环境工业生物技术	(270)
食品微生物制造中微生物生理功能解析与调控	(271)
微生物基因组快速突变新方法	(287)
产业篇	(301)
纤维素乙醇产业化发展及问题探讨	(302)
生物制造产业发展现状	(308)
2009 年工业生物技术要闻回顾	(319)

发展战略篇



非粮生物能源研发展望

匡廷云

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要 本文主要讨论了非粮生物质将是未来中国生物质能发展的主要方向。为此, 研究光能转化机制及其应用, 并充分利用沙地、盐碱地及海水水域等边际土地, 通过传统和现代生物技术收集、筛选, 重构一批节水、环保、高产的能源植物及藻类品种, 以期在单位土地面积上尽可能固定更多的太阳能。

关键词 边际土地, 非粮生物质, 太阳能, 生物技术

Prospect on the Research and Development of Nonfood Bioenergy in China

Kuang Tingyun

(Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

Abstract Nonfood biomass would be major parts of bioenergy in the future in China. Marginal land such as desert soil, salt soil, mountain area and fresh and sea water would be explored for biomass production. Respectively adequate plants (including trees, herbaceous, microalgae) cultivated in the margin lands need to be collected, selected and reconstructed, through traditional and advanced biotechnology manipulation aimed to accumulate much more solar energy in unit land area.

This chapter briefly reviews the present situation of nonfood bioenergy and prospect its bright future in China. The long term research projects that for nonfood bioenergy development needed were listed.

Keywords margin land, nonfood biomass, solar energy, biotechnology

1 引言

能源安全关系到我国国民经济的快速增长和社会的可持续发展。由于对化石能源大量使用可能导致的全球变化和资源枯竭的担忧, 以及对持续发展和保护环境追求, 世界开始将目光聚焦到可再生能源。可再生能源利用的受重视程度成为社会发展文明程度的指标之一, 当今世界, 建设可持续发展的新能源体系, 已成为各国高度关注的焦点和重大战略。

世界各国在调整本国能源发展战略中, 已把高效利用生物质能列为能源利用中的重

要课题,对于我国来说,发展生物质能源尤为重要和迫切。首先,我国面临能源短缺的严峻形势,由于我国的能源结构以煤为主,所以必须及早改善能源消费结构,提高可再生能源的比例。其次,随着我国经济的发展和人口数量的增加,我国将面临温室气体减排的巨大压力与生态安全危机,因此,清洁燃料的供给能力密切关系着国民经济的可持续发展。温家宝总理多次强调,我国将培育低碳经济作为经济发展的新增长点。我国要实现减排目标,必须加快可再生能源的发展。最后,生物质能源的开发将成为解决“三农”问题的有效途径之一。生物质能资源的高效利用,将促进农业增收,减少资源浪费,提高农村就业率。在非农田发展生物质能源,也利于形成稳定的能源植物资源基地。因此,生物质能源的开发利用在我国不仅具有重要的战略意义,而且有非常广阔的前景(匡廷云和白克智,2005;匡廷云,2006)。

2 我国发展生物质能源必须走非粮的道路,建立边际土地上的生物质资源的产业基地是发展生物质能源的基础

我国发展生物质能源不能与粮争地,与人争粮,必须保证粮食安全,这是中国的国情与美国及欧洲国家国情的不同之处。因此,在我国要发展非粮生物质能源,必须在边际土地(包括海洋和淡水等某些水域)上发展能源植物。这是我国具有特色的生物质能源可持续发展的道路。而在多为干旱、盐碱、瘠薄的边际土地上发展生物质能源,更需要选择高抗逆性强、高光合效率、高生物量的能源植物,通过提高单位土地面积上生物质的产量来实现。

因此,能源植物种质资源的筛选和遗传改良,将成为我国发展生物质能源的首要问题。必须针对在我国不同地域的优质高效能源植物资源的筛选,建立能源植物繁育和生产基地、规模化种植及加工生产体系,是克服制约生物质能源发展的第一瓶颈,也是目前重要的任务。

随着现代生命科学和生物技术的快速发展,基因测序技术、蛋白质分析技术、转基因技术和数据分析等日臻完善和廉价,将对新兴的能源植物(包括藻类和微生物等)的研发起到积极的作用。

在取得基因组学等研究的重大进展基础上,在基因挖掘、分子标记辅助转移和转基因技术获得较大进步的基础上,开展能源植物新品种经济性状的分子设计,通过分子标记辅助选择、转基因与常规育种技术相结合的策略,大规模创制具有相同(近)遗传背景、在单个或少数经济性状上获得显著改良的分子设计元件,根据预设的遗传改良目标,有针对性地选用设计元件,培育多个性状协调具有重要实用价值的新品种。最终目的是建立和完善多基因组分子育种的理论和技术体系,实现传统遗传改良向品种分子设计的跨越,培育出具有高产、优质、高效、抗病、抗逆和稳产性状的能源植物新品种系列,为保障国家能源和环境安全、促进能源植物育种理论和应用研究的创新做出重大贡献。

此外,目前将农业和林业的剩余物及有机废弃物转化为高品位的生物质能源产品(如沼气、生物乙醇及生物质发电等),必须提升技术,走集约化规模的道路。

3 利用太阳能的光生物转化生产清洁能源在“化石能源替代战略”中，具有举足轻重的地位。必须具有自主知识产权的核心技术，才能形成战略产业

光合作用是地球上最大规模地把太阳能转化为化学能，把无机物二氧化碳和水转变成有机物，并放出氧气的过程。每年地球上通过光合作用合成的有机物约为 2200 亿 t，相当于人类每年所需能耗的 10 倍。光合作用是生物质能源的物质基础，光合作用利用太阳能驱动的环境友好型电能、氢能及其他燃料的生产，是满足全球能源需求的可持续的重要途径（中国科学院生物质资源领域战略研究组，2009）。

发展生物学、物理学及化学的交叉和综合研究，利用生物学与物理学的交叉研究阐明光合膜传能和转能的分子机制及调控；利用化学与生物学的交叉研究合成具有特殊光化学特性的色素分子，结合以稳定蛋白质结构为目的蛋白质工程修饰光合作用中捕光色素蛋白复合体，优化其光能利用效率，提高其结构稳定性，制作既能高效吸收光能又具有高结构稳定性的生物光敏分子（图 1）。

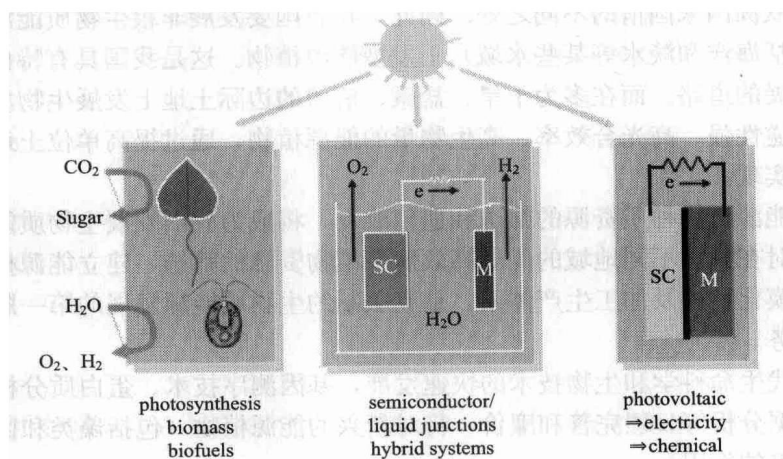


图 1 利用光合作用和仿生模拟原理生产生物质能及清洁燃料

（原图引自 Pandit et al., 2006）

3.1 提高陆生能源植物光能利用效率的途径

建立和完善主要能源植物及能源微藻的高光效分子设计育种体系，将常规育种与分子标记辅助选择和转基因等技术相结合；建立高光效的遗传群体，筛选、分离高光效的基因资源；充分利用我国高光效种质资源上的优势，建立提高光效的高效 QTL 位点和关键基因分子标记，并用于辅助选择创制高光效新材料，结合群体光合效率的改善，选育出光能利用效率高的能源植物及能源微藻的新品系（种）；检测不同环境条件下（光、温、水、土、气等）不同类型能源植物和能源微藻光能利用及碳素同化的效率及其对生

物量的影响。

3.2 新型高光效油脂作物及能源微藻的种质创新和利用

利用现代生物技术,通过研究油脂植物和能源微藻油脂的生物合成及其调控、调节光合产物分配以增加油脂含量及提高油脂储存器官的储存能力,创造新的油脂植物及能源微藻新品系(种),对解决我国面临的能源问题具有战略意义。

植物油脂的生物合成及其调控:阐明植物油脂的生物合成及其调控是利用现代生物技术提高油脂植物的含油量和品质的基础。直接参与植物油脂生物合成的酶类有几十种,同时,还有多种酶类和环境因子对其生物合成具有调控作用。利用最新发展起来的RNAi技术、蛋白质组学和功能基因组学等新方法和新手段,对油脂的合成与调控进行深入研究,阐明合成途径和调控机制。通过对光合产物分配的调节增加油脂含量:利用现代生物技术提高光能利用效率和调节光合产物的分配也是油脂植物产量和品质改良的重要内容。通过C4植物光合作用的关键酶在C3植物中的过量表达,提高油料作物的光能利用效率,实现油脂产量较大幅度的增加。通过对光合产物分配的调节,即对储存蛋白和糖合成有关酶类基因的抑制,或对油脂合成有关酶类基因的过量表达,增加油脂含量。

通过改造油脂储存器官提高油脂产量:最近中国科学院植物研究所研究人员发现我国特有植物四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)茎的油脂细胞可以积累大量油脂。这一现象说明,植物茎可以成为三酰甘油积累的器官。由于植物茎具备强大的储存能力(例如,甘蔗和甜高粱茎秆、马铃薯的块茎可以储存大量的糖类物质),因此,通过对四合木茎油脂细胞的结构和生物学特征、四合木三酰甘油生物合成及在茎细胞中积累的机制的研究,阐明四合木茎细胞积累油脂的分子机制;通过基因工程,获得以茎为储存器官和油脂产量高的植物(Wang et al., 2007)。

高光效产脂微藻的发掘和利用:生物柴油即脂肪酸甲酯或乙酯燃料油,是最重要的液体可再生能源产品之一。近年来由于油价飙升,国际上形成了生物质能源开发热潮,其中利用油料作物生产生物柴油和利用产淀粉作物生产乙醇成为生物质能源产业化开发的主流。但是,由于生物质能源开发最成熟的技术主要还是依赖农作物,导致生物质能源开发与人争土地、水和粮食资源的局面。因此,开发不与民争粮并可缓解温室气体排放的生物柴油是全球发展的共同需求。微藻含油量高、生长周期短、培养不占用耕地,是生物柴油规模化生产最有前景的油料来源。

3.3 微藻光合产氢以及氢能源的清洁生产可持续发展的新思路 and 有效途径

微藻光合作用机制的研究成果,可以为氢能源的清洁生产和可持续发展提供新思路 and 有效途径。从经济性、技术性、环境友好特征等因素综合考虑,氢被认为是未来最有可能替代石油的动力燃料。目前,美国、日本和欧盟都从可持续发展和安全战略的高度,制定了长期的氢能源发展战略。美国能源部于2001年1月公布了《向氢经济过渡的2030年远景展望报告》;2002年11月出台了《国家氢能源发展蓝图报告》;2003年1月布什总统在《国情咨文》中正式宣布启动《国家氢燃料研究计划》;欧盟于2002年

10 月成立了由欧盟委员会副主席德帕拉西奥领导的氢能源和燃料电池高级专家组,并在 2003 年 6 月发表了《未来氢能和燃料电池展望总结报告》;欧盟委员会主席普罗迪于 2003 年还宣布在未来 5 年内投入 20 亿欧元进行氢能研究,并将有关研究列入第六个研究框架计划 (Pandit et al. 2006)。日本通产省 1993 年启动了发展氢能和燃料电池的“新阳光计划”;2003 年又推出投资 110 亿美元开发氢能的 WE-NET 计划。从美国、日本和欧盟的情况来看,对氢能未来的前景已有非常清楚的认识。氢能已不是该不该发展的问题,而是如何加快发展的问題。从美国和欧盟的氢能技术路线图来看,两者都将氢能作为可持续能源政策的核心内容,从能源安全、环境保护,以及国家安全的战略高度来规划路线图。强调路线图计划的现实性和可操作性,强调政府的宏观调控与市场机制的结合;强调加强基础设施建设并要循序渐进;强调法律、法规和国际合作的重要性。这些政策框架基本符合了发展氢能的战略需求,对制定我国氢能技术路线图也有启示。将开发氢能列入国家长期能源战略,有利于我国经济长期稳定发展、有利于资源利用和环境保护、有利于能源安全和减少国际冲突。依此制定符合我国国情的长期氢能源发展战略,在此基础上规划我国未来氢经济的发展模式和产业模式,加大对氢能源开发的投资力度。开发有中国特色的氢能源技术,我国在氢能和燃料电池技术领域取得了一系列成果,研发水平排在第一梯队,仅次于日本、美国、加拿大、德国。但是,我国氢能研究起步较晚,在基础研究及应用技术研发方面与这些国家还有较大差距。因此应加大投入、加强基础研究、加快突破核心技术,使我国氢能和燃料电池研究在世界竞争中处于有利地位。加强微藻制氢基础研究,要解决的主要科学与技术问题有:蓝藻、绿藻光合产氢的代谢网络研究,发掘藻类产氢代谢调控因子;筛选 O_2 耐受性强、催化效率高的氢酶突变体,建立藻类直接转化太阳能为氢气的绿色制氢系统;优良产氢微藻筛选驯化和工程藻株构建,建立具有自主知识产权的高效产氢藻种库 (朱毅, 2006)。

以藻类光合产氢功能基因组研究为新的切入点,运用蛋白质组学、代谢组学和分子遗传学研究的最新手段,研究藻类光合产氢过程的代谢网络,阐明光合产氢的分子机制,揭示关键调控因子。在此基础上大规模筛选高效放氢藻株,获得高效产氢工程藻株;有可依托的国内多样化微藻种质资源,发掘、筛选和驯化我国特有的优良产氢藻种,并与国家的节水战略及非饮用水体,如海水、地下咸水水源等综合利用项目相衔接,在清洁制氢的同时,使无机废水得以利用;藻类制氢刺激因子及产氢工艺参数研究,设计和调试能够最大限度获得氢气的低成本生物反应器,为发展战略产业打下基础。

3.4 光合作用高效吸能、传能和转能机制的模拟,研制生物太阳能电池及第三代光伏电池的理论依据、新思路、新途径

太阳能是取之不尽、用之不竭的,关键的问题是如何大规模固定太阳能,并高效率地转化成人类所需的“无碳”能源。在自然界中,从光合细菌到高等植物,经过 35 亿年的进化和发展,光合作用已经成为一个完整的最大规模的利用太阳能,产生有机物并放出氧气的过程。如果没有植物的光合作用,就不可能有人类社会的生存和持续发展。

光合作用吸能、传能和转能的分子机制及其调控原理是光合作用的核心问题,是重大的科学问题。在光合膜系统中,传能的效率可达到 94%~98%,光能转换的量子转

换效率是 100%，在常温常压下利用可见光驱动水的裂解，产生电子、质子和氧气，这些都是当今科学技术远不能达到的。因此，模拟光合作用高效吸能、传能和转能机制，为清洁能源的发展提供原创性的高新技术和理论体系，建设可持续发展的新能源体系，是未来新能源战略的制高点（Zhou et al., 2009）。

光合作用利用太阳能驱动的环境洁净型电能、氢能源或者其他燃料的生产将会成为满足全球能量需求的唯一可持续的长期解决途径。为了达到模拟光合作用，建立新的能源体系的目标，2008 年，欧盟启动了“人造叶片”计划；美国能源部启动了生物太阳能电池和光生物制氢研究计划；澳大利亚成立了“澳大利亚人工光合作用网络”；日本提出了“光生物制氢研究计划”。欧洲甚至在 2009 年提出口号：要效仿美国第一个登上月球，他们要做第一个通过水和太阳能产生清洁能源的人！

人工模拟光合作用，关键问题是如何学习利用光合作用过程，发挥光合作用的潜能，这需要有一个学科交叉的大的规划项目去推动。

在中国科学院的支持下，中国科学院植物研究所、化学研究所、上海技术物理研究所和国家纳米科学中心等单位学科交叉，有机结合，优势互补，开展了模拟光合作用，构建生物太阳能电池的研究队伍，开展模拟光合作用，构建以光合膜为主体的生物太阳能电池的研究，现在这个研究队伍已经建立了一系列可以进行以高效吸能和转能目标的纯合或者杂合光合膜蛋白分子的设计，表达及功能蛋白的组装，以及光合膜蛋白仿生纳米材料的设计及组装的方法和技术手段，并能够进行以光合膜蛋白为主体的光电转换器组装及特性表征。此项研究正在深入的进行中。

3.5 光合细胞工厂的全新设计

当代生命科学的发展，光合作用机制及其应用研究所取得的成果，使得太阳能到燃料的转化成为现在建立小型生命体系为基础的光合细胞工厂。光合细胞工厂可以把太阳能直接转化为燃料或将多糖转化为更高价值的化合物。

由于细胞内代谢会使自由能大量丢失，因此目前从生物体内获取能量的效率比较低。然而，由于生物体可以自行进行繁殖并通过其光合器官不断产生能量，所以这一工艺还是具有很大发展前景的。这一点是 PV 电池所不具备的。开发可以自我复制的最大效率生物太阳能工程是一个巨大且急迫的科学挑战。系统生物学和光合生物学将会被联合起来应用于这一项目上。遗传学家、物理学家、分子生物学家、生物化学家，以及计算机专家将会长期通力协作，从原子水平了解高产太阳能燃料转化并耦合下游的生产流程。

目前设计“人造生物”的时机已经到来，这种生物可以通过最简易的途径，利用广泛的太阳能资源，获得高效率的能量系统。或许最合适的燃料是多糖，它可以通过电池系统将多种能量形式相互转化。

能够方便高效地转化和储存光能的细胞工厂可以以可持续的方式产生多种化学品和化学原料。这是获得能量和利用太阳能的有机组合。最小的代谢单位将会提供包括生物量在内的最佳理想化合物；单一的光合单位就可以将生物废料转化为营养物质并进行自我繁殖。

需要研究的问题：

一个主要的挑战是全面了解光合生物的系统生物学并以此为基础建立全新的光合细胞工厂以实现：最低代谢智能矩阵；得到正确的（遗传）适应模型，用来指导获得所需的功能。

要建立一种方法，以最小的生命单位为基础，系统包括生理和遗传适应进化优化战略，从而获得所期望的性能。这将使最小单位的繁殖体被应用于包括生物量和生物能源指标多种生物流程中。

作为一种替代办法，设计一种人工叶绿体型实体（即不带自我复制能力），将其寄生在矩阵的主体上，这可能会进一步提高效率。

这种途径是否能获得全面的成功还要依靠于建立一种可以高效收获最终产物的方法，例如，产物的自发聚合，在生命循环的最后将产物自我沉积并可以将沉积的生物量自动干燥。

致谢：谨向支持本文写作的张立新、卢从明、杨春虹、黄芳、许亦农和白克智诸先生致谢。

主要参考文献

- 匡廷云, 白克智. 2006. 生物质能利用技术研究新进展. //中国科学院. 2006 高技术发展报告. 北京: 科学出版社: 152-158
- 匡廷云. 2005. 生物质能研究展望. 中国科学基金, 6: 326-330
- 中国科学院生物质资源领域战略研究组. 2009. 中国至 2050 年生物质资源科技发展路线图. 北京: 科学出版社: 24-32
- 朱毅. 2006. 微藻光合放氢的生理生化调控及生物技术研究. 中国科学院植物研究所博士学位论文
- Pandit A, de Groot H, Holzwarth A. 2006. The White Paper "Harnessing solar energy for the production of clean fuels"
- Wang GL, Lin QQ, Xu YN. 2007. *Tetraena mongolica* Maxim can accumulate large amounts of triacylglycerol in phloem cells and xylem parenchyma of stems. Phytochemistry, 64: 2112-2117
- Zhou F, Kuang T, Yang C. 2009. Effect of monogalactosyl diacylglycerol on the interaction between photosystem II core complex and its antenna complexes in liposomes of thylakoid lipids. Photosynthe Res, 99: 185-193

作者简介



匡廷云, 中国科学院植物研究所研究员、中国科学院院士、欧亚科学院院士。1956年毕业于北京农业大学土壤农业化学系。1962年, 在前苏联莫斯科大学生物系获理学哲学博士学位。1981~1982年, 在美国密歇根州立大学和美国能源部植物实验室做访问学者。中国植物学会前理事长, 中国植物学会名誉理事长, 中国植物生理学会名誉理事长。生物膜与膜生物工程国家重点实验室学术委员会主任、植物生理生化国家重点实验室学术委员会主任。1987年被选为国际光合作用研究学会执行委员会委员。在

光合作用研究方面取得了国际上有重要影响的成果。曾荣获国家自然科学奖二等奖、中国科学院科技进步奖及自然科学奖多项及黑龙江省部一等奖及二等奖各一项。她被评为全国科协科普先进工作者，北京市科普形象大使；被评为全国城镇巾帼建功标兵、中国科学院巾帼建功标兵；被评为中央国家机关十大杰出妇女。

Kuang Tingyun, professor of Institute of Botany at Chinese Academy of Sciences (CAS), academician of Chinese Academy of Sciences and academician of Eurasian Academy of Sciences. She got B. S. from Chinese Agriculture University in 1956 and obtained doctoral degree of science in philosophy from biology department at Moscow University in 1962. From 1981 to 1982, she worked as a visiting scholar in Michigan State University and Plant Research Laboratory of the U. S. Department of Energy. She is the director of the Academic Committee of State Key Laboratory of Biomembrane and Membrane Biotechnology, and director of the Academic Committee of State Key Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry. She is the president of Botanical Society of China and honorary president of this Society and Plant Physiology Society. In 1987, Professor Kuang was elected as a member of the Executive Committee of International Society of Photosynthesis. She has made significant achievements on photosynthesis research in the world. She won many honors, including a second prize of National Natural Science Award, several prizes of CAS Science and Technology Advancement Award and Natural Science Award, as well as a first and a second prize awarded by Heilongjiang Province. She was rated as an advanced worker in science dissemination by China Association for Science and Technology, and an ambassador in science dissemination in Beijing. She was also chosen as a female model both by the nation and the CAS, and one of the top ten outstanding women within China's State Organs.