

中国农业生物技术发展的现状与策略研究^{*}

符少辉 何忠伟

(湖南农业大学 长沙 410128)

〔摘要〕 分析了中国农业生物技术发展的现状、问题和发展潜力,提出了其发展的策略。

〔关键词〕 农业 生物技术 〔中图分类号〕 S1 Q81

〔文献标识码〕 A 〔文章编号〕 1000-7857(2004)09-0038-04

STUDIES ON THE STRATEGY AND STATUS OF AGRICULTURAL BIO-TECHNIQUE IN CHINA

FU Shao-hui HE Zhong-wei

(Hunan University of Agriculture, Changsha 410128, China)

Abstract: The paper analyzed status, questions and potentialities of the agricultural bio-technique in China, and put forward some strategies: strengthening basic theory research of the agricultural bio-technique; reforming institution of the agricultural bio-technique; speeding up industrialization of the agricultural bio-technique.

Key Words: agriculture, bio-technique

CLC Number: S1 Q81

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2004)09-0038-04

生物技术已发展成为包含基因工程、蛋白质工程、细胞工程和动物克隆等多项内容的现代高新技术,它代表着最有前途的技术方向,是新世纪最具影响力的高新技术新兴产业带,是最有生命力的经济增长链。经 30 多年的努力,中国农业生物技术及其产业取得了较快的发展,在基因工程、作物育种、克隆技术等方面都拥有了世界领先技术。

1 中国农业生物技术发展的现状

1.1 已有的成绩和进展

1.1.1 两系法杂交水稻的研究与开发成果显著 中国首创的两系法杂交水稻从繁种、制种到栽培的一整套技术已基本成熟,为水稻杂种优势的利用开辟了一条新途径。近年来,30 多个高产、优质的两系法杂交稻品种间、亚种间新组合已经通过省级品种审定,并大面积推广,在全国累计种植 264.4 万亩,普遍比三系稻每亩增产 85~100 公斤,每亩增加纯收益 80~100 元。已累计增产稻谷 1.5 亿公斤,增加社会效益 2 亿元左右。

1.1.2 转基因农作物硕果累累 中国在农业生物工程的抗病、抗虫、抗除草剂、抗病毒及蛋白质品质改良方面做出了很大成绩。目前,中国已构建合成了分子量最大的 GMF·ryl-A 杀虫基因,并通过高效表达载体导入我国棉花主栽品种中,最高抗虫率可达 90% 以上;分离和克隆了豇豆胰蛋白酶抑制剂基因和大豆胰蛋白酶抑制剂基因,并已获得单基因及与 B.t. 杀虫基因双基因转化的烟草,均表现出高抗虫性;豇豆胰蛋白酶抑制剂基因已被成功地转入了甘蓝植株,获得了对菜青虫有一定抗性的转基因甘蓝植株;应用生物技术向小麦导入黄矮病抗性基因,已获得抗黄矮病

的转基因小麦植株,并选育出一批高抗黄矮病、农业性状优良兼抗白粉病、田间表现完全免疫的小麦新品系;培育了单抗烟草花叶病毒和双抗烟草花叶病毒、黄瓜花叶病毒的新品种,推广种植的双抗品种的抗病率达 70%,单抗品种抗病率达 90%。

1.1.3 转基因动物的研究与开发卓有成效 中国科学家已成功地把基因工程应用于动物品种的遗传改良、培育高产优质的“超级动物”及抗病育种等方面,并取得某些突破性进展。中国农业大学的陈永福等人将可调控的外源生长激素基因整合到动物的基因组中,构建成可以调控的表达载体,并采用微注射法将外源基因导入猪等其它动物,所获得的转基因猪与对照相比,6 月龄 G0 代平均日增重提高 11.8%,G1 代提高 14.8%,饲料转化率提高 10%,瘦肉率提高 2%。朱作言等人早在 1984 年就建立了一套完整的转基因鱼模型,近年来许多研究者又先后在草鱼、大马哈鱼、鲫鱼、罗非鱼等许多领域开展研究,并已居国际先进水平。廖群星等人利用卵核移植的方法,将装有乳腺表达启动子的融合基因导入山羊单细胞胚胎,再将转基因胚胎移入山羊受体,获得的转基因羊分泌的乳汁中人生长激素含量很高,为建立乳腺反应器生产技术体系打下了基础;利用卵核移植技术,已获得了抗瘟病的转基因猪和转基因家兔。

1.1.4 重组联合固氮、防病工程菌研制取得重要进展 中国从水稻根际分离了固氮能力较强的粪产碱菌,鉴定出在粪产碱菌中与固氮(nif)一般代谢调节(gln 或 ntr)基因的同源 DNAe 序列,并构建了花生根瘤菌、巴西固氮螺菌和固氮粪产碱菌的基因库。克隆了几种固氮酶结构基因,完成了大豆基因工程根瘤菌 MN32 中的 3.7Kb 增效片段序列分析,在此基础上构建的水稻耐铵固氮工程菌,累计应用面积 500 万亩以上,可节约工业肥 20%,平均每亩增产 5%~

^{*} 本文获 2003 年湖南省自然科学基金项目(03JJY3114)资助。

12.5%，而大豆与花生共生固氮工程菌累计推广约 300 万亩，每亩增产 8%~20%。

1.1.5 应用基础研究进展顺利 中国在上世界上首次成功地绘制了高分辨率的水稻物理图谱，不仅为最终解开水稻全部遗传信息奥秘奠定了基础，而且还可以通过基因定位、克隆等生物技术为水稻遗传育种提供重要的基因和信息；利用 RFLP 标记技术建立了水稻 BAC 文库并且定位了 2 个水稻抗稻瘟病基因、1.5 矮秆基因和 1 个生育期基因以及近百个水稻多种数量性状座位，正逐步应用于水稻育种工作中；分离、克隆了水稻蜡质基因并分析研究了它的分子特征，为禾谷类作物基因工程提供了有用的元件，为品质改良提供了重要的理论依据；利用生化标记技术、RFLP 标记和染色体原位杂交标记，对小麦外源染色体进行了鉴定，筛选出一批适合鉴定小麦外源染色体的探针和高抗白粉病、黄矮病的小麦优良材料。

1.2 研究开发和产业化发展中存在的问题制约着中国生物技术的进一步发展。

1.2.1 基础薄弱，急功近利，缺乏长期战略规划 中国农业生物技术的主要基础是几十年来对国外先进技术的跟踪和模仿，缺乏系统性、独创性的基础工作。创新需要基础，需要长期的、系统的工作和积累。目前，有的研究项目只追求短期应用；有的缺乏自主知识产权，只能在低水平上重复；科研成果的质量徘徊不前、进展不大。

1.2.2 科研计划各行其是，缺乏协调配合 目前中国涉及农业生物技术项目的国家科技计划有“863”、“973”、“攻关”、“攀登”和重大农业科学工程、基础研究、转基因植物专项、自然科学基金等 8 项。各部门和地方自己设置的各种科研资助也有一定的规模。但在项目管理方面，还存在着上下计划不够衔接、互相不够配合、平行发展等问题，造成低水平重复和资源浪费。而各个计划因自身力量有限，缺少配合，也难以把事情做大、做高、做成。

1.2.3 科研力量分散，缺乏系统思想 中国农业生物技术的研究力量主要集中在中科院、教育部、农业部等几个部门，其机构和学科设置基本上仍因袭传统。这几年虽有一些改革和调整，但基本模式仍没有从根本上改变，使新兴的生物技术研究只好分散在传统的各学科之中，形不成气候，更出不了大的成果。所以应当打破这种体制，建立高效、有力、精干的生物技术研究或研究中心，尽早搭设国家级农业生物技术平台。

2 中国农业生物技术产业的潜力

科学家们预言，21 世纪是生物工程的世纪。现代农业生物技术是仅次于医药生物技术的发展最迅速、效益最显著的领域，必将成为 21 世纪新的经济增长点。

2.1 从农业生物技术自身的特点来看其潜力

2.1.1 农业基因工程的新技术和新方法不断出现 近 10 多年来，转基因技术的一系列重大突破，为动植物基因工程的发展不断提供有效的新手段。新的遗传操作技术，尤其是动物和植物细胞的基因转移技术、基因扩增技术、基因克隆技术以及新型表达载体和转化体系不断涌现。新的转基因技术也在趋于不断完善或正在发展研究之中。随着转化技术的重大进步，已培育出越来越多的转基因植株。基因工程可用于改良作物的品质及其它农艺性状，新的基因导入

技术和分离优良性状基因的技术，将为未来 10 年农业生物技术的发展注入活力。

2.1.2 新的基因导入技术使农作物育种显示出巨大的发展潜力 近 10 多年来，中国在转基因植物研究方面，总体上已接近国际水平，在发展中国家处于领先地位，在亚洲具有明显优势。在农作物抗性生物技术育种方面近年已取得重大突破，现已获得抗虫棉花、抗病毒水稻、抗菌素青枯病马铃薯，以及分别具有抗赤霉病、白粉病及黄矮病小麦等具有某种抗性的大田作物。

2.1.3 转基因动物育种正在转向开拓新产品和新功能的研究领域 近年来，科学家利用转基因技术又培育了大批具有经济价值的转基因动物，尽管成功率还不高，还没有进入产业化阶段，但已有很多成功的例子。如培育出的带人体基因的转基因猪，其器官移植于人体不会发生排异反应。科学家认为，这种转基因猪的成功可望解决供移植的人体器官不足的问题。从培育出的特种猪的血中，可提取完全活性的人血红蛋白，从而为市场提供大量安全、廉价的产品。新培育成功的含人体血清白蛋白基因的山羊、绵羊、猪和家兔等转基因动物不下 10 种，其乳腺分泌的医用蛋白质已达到可商业开发的水平。预计 2010 年前后，用转基因动物作为“生物反应器”生产各种重要药物的产业将形成产业化的规模。

2.1.4 人类将全面进入克隆时代 英国克隆羊“多莉”的诞生是生物技术领域一个具有划时代意义的重大突破，引起了世人对克隆技术的极大关注，此后全球掀起了一场克隆浪潮。中国科学家亦不甘落后，于 1986 年利用鲫鱼肾细胞核培育了 1 例克隆鱼；1996 年利用草鱼肝细胞核培育了 1 例克隆鱼；中国西北农业大学培育了首批五代山羊胚胎的克隆后代。中国台湾省用胚细胞核克隆的 5 头猪已满 6 周岁。目前世界上不少公司正在进行核移植克隆牛的研究。

2.1.5 农业生物技术将为未来环境保护、实现农业可持续发展带来新的希望 农业生物技术是解决人类食品问题，而同时又不破坏自然环境和保持生态平衡、实现可持续发展的最主要途径。如：用工程植物和微生物清除环境污染物和土壤毒物，已被公认取得显著成效；研究和开发了多种类型的能代替化学杀虫剂的生物农药，以此大大减少了化学污染；正在研究如何利用微生物和植物生产新型可降解塑料，以解决白色污染问题以及废物处理利用；开发对环境无害的生物能源和食物，等等。

2.2 从中国具备的条件看其潜力

2.2.1 具备了一定的发展基础 经过 10 多年的艰苦努力，中国农业生物技术的研究开发和产业化取得了显著进展。目前中国正在研究和开发的有：转基因植物 47 种，涉及各类基因 103 个（不含标记基因）；农业微生物基因工程供试微生物 31 种，涉及的基因约 56 种；转基因鱼、畜禽动物基因工程研究已达 30 余种。同时还有：研究成功的两系法杂交水稻已经为粮食增产做出了重大贡献，累计推广面积达 67 万公顷，创造产值 10 多亿元；抗黄矮病和白粉病小麦、高油玉米、马传贫疫苗、转基因鱼、畜禽胚胎工程等已达到国际先进水平；农用抗生素——农抗 120 和中生菌素已大面积推广应用，创造经济效益 10 多亿元；Bt 生物技术居国际领先地位；饲料添加剂—植物酶的研究达国际领先水平。

2.2.2 具备了一定的科技实力 中国农业生物技术的整体水平在发展中国家处于领先地位, 在一些领域已经进入国际先进行列。中国作为惟一的发展中国家成员参与了国际人类基因组计划, 完成了 1% 测序工作; 中国科学家独立完成了籼稻的全基因组测序, 成为少数几个能独立完成大作物测序工作的国家之一。中国涉及农业生物技术的各类研究机构已超过 200 家, 海内外技术和产品研发人员约 4 万人, 形成了从基础研究、应用技术研究到产品开发相互衔接、相互促进的创新体系。有关资料显示, 中国处于国际领先地位的两系杂交稻技术已经大面积推广应用。在农业生物技术领域, 中国抗虫棉研究达到世界先进水平, 成为世界上第二个有自主知识产权并能独立种植的国家。中国还先后克隆成功羊、牛等动物。此外, 在医药生物技术领域, 中国进入临床研究的生物医药已达 150 多个。中国拥有动植物、微生物约 26 万种, 是生物资源、生物多样性最丰富的国家之一。

2.2.3 中国政府加大了财政投入对农业生物技术的支持力度 “十五”期间, 中国对生物技术研究开发与产业化的总投入已经超过了 100 多亿元; 科技部用于农业技术和生物技术研究经费在“十五”期间比“九五”期间分别增加了 3 倍以上, 并且还将进一步加强对农业生物技术的支持力度; 与此同时, 通过科技项目匹配等多种方式, 正在进一步调动全社会的力量, 形成多元化的投入体系, 为农业生物技术的发展初步奠定了坚实的物质和条件基础。

2.2.4 农业生物技术产业正成为中国发展最快的产业之一 目前, 中国农业生物技术与产业已经开始从跟踪仿制向自主创新转变、从实验室探索向产业化转变、从单项技术突破向整体协调发展转变。

2.3 从经济效益和市场需求来看其潜力

2.3.1 与国外发展相比具有巨大的市场潜力 农业是现代生物技术应用的重要领域之一。统计表明, 美国现有生物技术产业公司 1 300 多家, 2002 年生物技术产品的年销售额约为 200 亿美元, 预计到 2006 年可达 340 亿美元, 平均年增长率 12%。虽然医药生物技术产品占第一位, 约占 75%, 农业占 3%; 但普遍预测认为, 继医药作为生物技术的第一浪潮之后, 农业、环保和海洋生物技术将成为生物技术的第二个浪潮, 生物技术产品在农业总产值中的比重将越来越大。当今国际农业生物技术的发展已揭开第二个浪潮的序幕, 美国、欧洲、日本均已加大投资。发达国家声称: 发展农业生物技术将保持其在世界农产品出口中的领先地位。相比之下, 2002 年中国转基因植物推广的面积还不到全球转基因植物种植总面积的 1%, 经济效益很小。中国作为一个 12 亿人口的农业大国, 在农业生物技术上有很大的发展空间。

2.3.2 转基因新品种利润大 转基因植物育种不但有利于改善人类食物供给和其它需求, 其潜在的商品价值也是巨大的。如, 水稻是中国最具有国际竞争优势的大田农作物品种, 也是中国最主要的粮食品种 (占粮食总产量的 40% 左右), 如果抗虫转基因杂交水稻能够成功进入商品化生产, 将会提高 30% 的产量, 从而带来巨额盈利。目前, 中国每年水稻的种植面积大约是 5 亿亩, 其中杂交水稻的种植面积为 2 亿亩左右。如果现有的杂交稻种植区都采用转基因杂交水稻种子的话, 种子需要量为 3 亿公斤左右, 市场价值

大约为 60~90 亿元 (价格以每公斤 20~30 元计), 而总成本只需要 10 亿元 (每公斤成本以 3 元计); 如果 5 亿亩的水稻都采用转基因杂交水稻种子的话, 每年大约需要转基因水稻种子 7.5 亿公斤, 市场价值大约为 150~225 亿元, 剔除大约 22 亿元的成本, 市场利润空间非常可观。

2.3.3 抗病虫害新品种需求量大 由于中国农作物的病虫害较多, 对农作物的生长造成了很大的危害。如 2003 年中国棉花主产区遭受的棉铃虫之害。据新疆 13 个地 (州) 重点测报站观察, 棉铃虫在南疆中度偏重发生, 莎车、巴楚一带部分地块大发生, 北疆、东疆中度发生, 乌苏、哈密及其相邻生态区局部中度偏重发生, 全疆发生面积约 350 万亩次。河北棉铃虫呈中等偏重发生态势, 全省棉花品种多是 BT 抗虫棉, 对棉田棉铃虫有较强的抑制作用, 但对棉花苗病、枯萎病抗性较差, 易于发病。河南棉花病虫害呈中度发生局部偏重态势: 棉铃虫中度发生面积估计 6 000 万亩次; 棉盲蝽中度发生面积估计 550 万亩; 棉叶螨中度发生, 面积估计 900 万亩; 苗期蚜虫中度发生, 局部偏重, 面积估计 500 万亩; 伏蚜中度发生, 面积估计 700 万亩; 黄萎病偏重发生、局部重发生, 面积估计 500 万亩。据山东植保总站估计, 2004 年该省棉铃虫一代轻发生, 二、三代大发生, 发生面积 900 万亩。由于转基因农作物新品种具有良好的抗病虫害特性, 各地对它们的需求与日俱增, 形成了一个空间很大的卖方市场。

3 中国农业生物技术发展策略

3.1 加强农业科技的基础理论研究

生物高技术的核心是技术创新。基础研究的不断发展将促进知识更新与技术创新, 确保技术进步和社会发展。要加强农业生物技术的基础理论研究, 特别是符合国家需求、对农业可持续发展有重大意义的研究领域。在生物技术领域, 要继续开展: 抗虫、抗病、抗逆等基因的标记、克隆和转移技术的研究; 超级稻、抗虫棉、抗虫玉米、抗病水稻等作物新品种、新组合选育的研究; 超级猪、转基因鱼等畜禽、水产新品种、新品系培育方法的研究。在信息技术领域, 要研制开发新型农业信息系统平台, 建立可提供政策、市场、资源、技术、生活等综合信息的网络体系, 加大数字农业、精准农业、虚拟农业、智能专家系统等研究开发的力度。

3.2 加大农业科技体制改革力度, 建立新型的农业科技体系

3.2.1 建立新型的农业科技管理体系 针对农业科技多头管理、重复和分散的现状, 合理调整农业科研力量的结构和布局。要根据中国目前农村的实际与农业科技的特殊背景, 区别不同地区的不同情况, 改革农业科技体制。农业科技体制改革要根据科技和经济结合、提高科技创新能力、促进科技产业化和提高整体效率的要求, 对农业科技机构进行分类重组。将农业研究开发机构重组为基础公益类、科技服务类和技术开发类三大类: 基础公益类农业科技机构由政府以项目和基地的形式给予财政支持, 重点研究农业基础理论、农业发展中的重大科技问题以及先进的农业适用技术和高新技术; 科技服务类机构应根据服务内容和范围由政府给予财政资助, 将工作的重点面向市场、面向农业经济发展的需要, 发展农业科技服务工作; 技术开发类机构要逐步转变为科技企业或进入企业, 自主经营, 自负盈亏,

自我发展。应从根本上解决农业科技与农业生产相脱离的问题,真正实现科技与经济的紧密结合,使农业科技全面步入产业化轨道,为科研向现实生产力的转化打好基础。

3.2.2 建立新型的农业科技创新体系 应按照市场经济发展的要求,引进市场机制、竞争机制和激励机制,为科技农业引入经济保障机制,提高农业科研单位和农业企业的科技创新能力。要大力推进农业科技革命,加强农业科技进步,全面提高农业科技创新能力,为农业和农村经济发展提供可靠的技术支撑,提高为农业产业化和农业现代化服务的水平。同时,也要大力发展民营农业科技企业,逐步形成国家、地方、企业、民营等多元化的农业科技创新体系,使企业成为技术创新的主体。

3.2.3 建立农业科技服务队伍 应充分发挥市场经济作用,促进农业科技服务推广队伍的多元化、推广形式的多样化、运行机制市场化。要改变现有推广方式,由国家出资为主变为国家、企业、个人和社会共同参与的方式,建成以农业技术推广体系为主体的农业科研、教学、企业、中介服务组织相连接的新型农业科技推广网络,增加服务手段,拓宽服务领域,提高服务水平。农业科技成果转化要面向生产、面向市场。要发展农业科技产业化,逐步形成以农业科技企业为主体、农业科技示范园区和生产基地为依托的成果转化的新体系,加快技术成果的中试、示范和转化。

3.2.4 建立新型的农业、农村教育体系 应建立以高等院校、科研院所为龙头,以农村基础教育、成人教育、职业教育为基础,以网络教育(远程教育)和继续教育为支柱,以地(市)、县等职业院校以及乡村农民技校为骨干,以省、地、县、市、乡村农业和农村教育多层次培训为核心的农村终身教育体系。

3.3 突出高科技、高质量的特色,加快科技农业产业化的进程

3.3.1 建立新的农业生物技术产业化发展模式 当今世界蓬勃发展的高新技术,正在对农业生产、人民生活和社会发展产生深刻的影响,大力发展高新技术,实现产业化经营,已成为科技发展的重点。农业生物技术产业化要适应整个农业产业化发展大趋势,逐步形成生产、加工和销售一体化的产业体系。应促进企业和科学研究及教学单位的联合,逐步形成新的知识密集型的农业生物技术产业公司。应以市场为导向、以产品为龙头,逐步增强自我发展能力和竞争能力,形成新的高新技术产业运行机制和高科技管理体制。农业生物技术的研究、开发要与产业紧密结合,加快农业生物技术的产业化、商品化和国际化。应大力发展农业生

物技术企业集团,有选择地建设一批农业生物技术试验园区,逐步扩大产业基地,形成新的农业生物技术产业生长点。

3.3.2 积极创办农业科技企业,特别是中小型高新技术企业,实现农业科技产业化。要以市场为导向、以经济效益为中心,积极发展名特优产品和特色农业,形成规模化、专业化生产布局,提高商品率。要继续大力扶持农业科技企业,特别是中小型高新技术企业,推广“公司加农户”、“订单农业”等多种形式,发展农产品加工、储运、保鲜等产业,提高农业的后续效益,进而实现商品化、产业化。

3.3.3 发展区域化的设施农业 中国幅员辽阔、气候类型多样、地域条件千差万别,经济、技术市场等条件又各不相同,因此,各地不可能采用同一类型的设施,更不能照搬某一国家或某一地区的设施,必须重视区域特点、因地制宜,考虑当地的地域条件、经济发展水平、综合的科技力量和市场前景等4个方面的因素,找出适合本地的先进性与实用性相结合的设施农业的结构和内容。

3.3.4 完善金融机制,建立科技农业产业化的投资体系 健全的资本和货币市场是发展科技农业产业化的重要前提,中国可参照美国等世界发达国家发展生物技术和信息技术的重要经验,设立“农业生物技术与信息技术风险投资开发基金”,建立和完善生物与信息技术发展的融资机制。应通过基金的设立和融资机制的完善,来培育资本市场,这也是现阶段中国实现农业高新技术成果产业化的有效途径。

参考文献(Reference)

- [1]李贵鲜,张文范,赵喜明.加大力度发展我国生物技术产业[J].中国科技产业,2002,(4):11~12
- [2]王晓方,申茂向主编.中国农村科技中青年优秀人才论农业技术革命与中国农业现代化[M].北京:科学技术文献出版社,1998.289~291
- [3]李学勇.加速农业生物技术跨越式发展,切实推进新的农业科技革命[J].中国农业科技导报,2003,5(1):1~6
- [4]何忠伟.中国稻米产业的发展:现状、压力与对策[J].农业技术经济,2003,(6):44~46
- [5]信乃谕.国外转基因作物发展现状及其对策建议[J].中国农学通讯,2001,17(4):1~5
- [6]国际农业生物技术应用服务组织 ISAAA. 2000 年全球转基因作物商业化情况回顾[J].生命科学公报,2001,(7):14~16
- [7]范云六,张春义.迎接 21 世纪农作物生物技术的挑战[J].生物技术通报,1999,15(5):1~6
- [8]贾士荣.转基因作物的安全性争论及对策[J].生物技术通报,1999,15(6):1~7

(责任编辑 邱夜明)

(上接第 46 页)

镇照明、彩妆美丽的城市夜景、承接太阳的能量为城镇所用、提供通讯与信息的网络让信息畅通无阻,也提供了安全的保障。21 世纪的城镇是人文与科技并重的智能型城镇。光电科技在其中将扮演越来越重要的角色。

参考文献(References)

- [1]Steigerwald D A, Bhat J C, Collins D, Fletcher R M, Holcomb M O, Ludowise M J, Martin P S, and Rudaz L. Illumination with solid state lighting technology. IEEE J. Select: Topics Quantum Electron. 2002,8(3~4):310~319
- [2]宋明俊. LED 现况与展望 [C]. LED 照明技术发展与应用研讨会, 2004

- [3]经济部能源委员会.太阳光发电电计画示范系统推广计画. <http://www.pvproject.com.tw>

- [4]郭礼青.国内太阳光发电应用系统应用现况[J].太阳能发展学刊,2002,5(1)
- [5]Neamen D A, Semiconductor physics & devices. McGraw Hill, 1997
- [6]Arnaud B St, Wu J, Kalali B. Customer-controlled and -managed optical networks[J]. Lightwave Tech, 2003, 21(2): 804~2 810
- [7]Culshaw B. Optical fiber sensor technologies: opportunities and -perhaps-pitfalls[J]. Lightwave Tech, 2004, 22(6): 39~50

(责任编辑 邱夜明)