

展望 21 世纪的农业生物技术*

——后基因组时代的农业生物技术

李宝健, 朱华晨

(中山大学生物工程研究中心//基因工程教育部重点实验室, 广东 广州 510275)

摘 要: 概括地论述了 20 世纪农业生物技术发展所依托的理论和技術, 并对上世纪在较短时间内建立和发展起来的农业生物技术进行了综合评述。作者认为: 21 世纪的农业生物技术将以后基因组时代为特征而获得巨大的发展; 作者还全面展望了在后基因组时代的新世纪中, 农业生物技术将取得的革命性的成就、应注意的问题和应创建和具备的条件。

关键词: 农业生物技术; 后基因组时代; 20 世纪; 21 世纪; 展望

中图分类号: S188 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 01-0056-06

21 世纪将是生命科学的世纪。在 21 世纪中, 将因此而产生医学上的革命, 同时, 也将产生农业科学上的革命。这个革命是不同寻常的革命。正如在上世纪末 (1998), Science 发表的署名文章《第三次技术革命》所提出的那样: “一场与工业革命和以计算机为基础的革命有相同影响的变化现在正在开始, 下一个伟大时代将是基因组革命时代, 它现正处于初期阶段。”^[1] 那么, 到底 21 世纪农业科学将会取得那些进展、将成为怎样的面貌? 我们将从 20 世纪农业生物技术发展概况、21 世纪农业生物技术发展展望、适应国际竞争的巨大机遇, 我国发展农业生物技术必须具备的条件三个方面, 对这一问题加以论述。

1 20 世纪农业生物技术发展概况^[2,3]

农业生物技术是农业现代化的重要组成部分, 是新世纪农业科技的先导部分。其研究内容包括: 农业有关生物体的基因工程、细胞工程、发酵工程、酶工程等领域。植物组织细胞培养的研究开始于上世纪 30 年代, 至上世纪末, 农作物的细胞工程 (含: 原生质体培养、植物体细胞杂交、快繁技术和人工种子等) 的研究规模不断扩大, 新成果也不断涌现。农业生物的基因工程起源于上世纪八十年代初, 这种在分子水平进行的遗传操作, 是农业生物技术的核心和带动的部分, 即高科技的部分。21 世纪的农业革命将是基因组革命时代, 更具体说, 她是以后基因组时代为特征的, 她是 20 世纪农业生物技术的继承和发展。故此, 在论证 21 世纪农业革命的基础及前景之前, 回顾一下 20 世纪农业生物技术的发展仍有其必要性。

1.1 20 世纪农业生物技术发展所依托的理论和技術

1.1.1 依托的理論 没有理論的创新, 就没有突破性

技术的发展。属生命科学范畴中的农业生物技术与生物医学的发展, 均是依托包含着 15 ~ 16 个诺贝尔奖获得者在内的以下理论的指导而发展起来的^[3]:

首先, Average (1934 年) 通过肺炎球菌转化实验, 首次确定了 DNA 是遗传物质, 并且第一次成功地进行了转化实验; 随后, Watson 和 Crick (1953 年) 发现了 DNA 分子双螺旋结构及半保留复制方式, 从而为分子遗传学、分子生物学以及以后基因工程的开创打下了基础; Nirenberg 等一批科学家 (1961 - 1966 年) 对遗传密码及其在各种生物体的基本通用性的确定, 这为基因组学的建立奠定了基础; Crick 等一批科学家 (1958 年) 发现了遗传信息传递的中心法则 (这一中心法则也是今天分子生物学的中心法则); Steward (1959 年) 发现了真核细胞 (高等植物细胞) 的全能性, 这是细胞工程最重要的理论; Monod & Jacob (1961 年) 提出的操纵子学说为基因表达调控的研究打下了基础; Ledeburg 等一批科学家 (1956 - 1966 年) 发现了细胞中的质粒, 为基因工程载体的发展奠定了基础; Smith 等 (1970 年) 发现了 DNA 限制性内切酶, 在此基础上, 以后发展了系列的分子生物学工具酶; Baltimore & Temin (1970 年) 发现了逆转录酶, 为 cDNA 克隆打下了基础; Berg (1972 年)、Cohen (1973 年), 建立了基因工程的基本模型, 首次人为实现了 DNA 分子水平的基因拼接及基因重组。

1.1.2 依托的技術 仅仅有正确的理论而缺乏配套的先进技术是无法完成实际的操作的。我们认为: 20 世纪基因工程发展主要依托以下的技术:

(1) 基因加工酶的技术, 又称工具酶技术。主要有: 限制性内切酶、连接酶、DNA 聚合酶 (含 Tag 酶)、DNA 多核苷酸激酶、反转录酶、磷酸化酶、脱氧核糖核酸酶 I、核酸酶 S1、外核酸酶 III 等共二三百种工具酶的发现和应用,

* 收稿日期: 2003 - 12 - 16

基金项目: 国家转基因植物研究与产业化专项资助项目 (J00-A-009; J99-B-012); 广东省科技计划基金资助项目 (B201)

作者简介: 李宝健 (1933 年生), 男, 教授, 博士生导师; E-mail: lsslbj@zsu.edu.cn

使得有可能在试管内进行 DNA 分子的切割和重组手术;

(2) 各种 DNA 分子的分析 and 纯化技术, 主要是各种电泳技术和离心技术;

(3) DNA 测序技术, 特别是 20 世纪后期所发展的大规模 DNA 自动测序技术系统;

(4) 多肽测序技术;

(5) DNA、RNA 合成及多肽合成技术;

(6) 基因文库和 cDNA 文库技术 (含逆转录技术);

(7) 基因克隆和扩增技术;

(8) 各种日益具先进性的基因工程载体的构建和应用;

(9) 分子杂交技术;

(10) 蛋白和各种活性分子的分析纯化技术;

(11) 基因转移的系列技术。包括 PEG 法、电激法、基因枪法、农杆菌或病毒介导法、聚焦激光技术等;

(12) 基因定点突变技术及基因修饰技术;

(13) DNA 多态性分析, 如限制性酶切片长度多态性 (RFLP) 及其连锁图谱、随机倍增多态性 DNA (RAPD)、倍增片段多态性 (AFLP)、DNA 指纹技术等;

(14) 核酸、蛋白质的计算机数据库的建立;

(15) 其他生物信息学有关的技术, 包括: 各种高储量电脑及有关分析软件如蛋白质晶体结构分析技术的建立, 多种生物芯片技术等;

(16) 细胞融合的杂交瘤技术;

(17) 细胞大规模培养以及高密度发酵技术。

1.1.3 依托的仪器、设备 为了发展上述技术, 一系列精密密度很高的仪器得以广泛的使用。这些仪器包括: 各种电泳仪, 如各种凝胶电泳仪、毛细管电泳仪等; DNA 合成仪; RNA 合成仪; 多肽合成仪; DNA 测序仪或自动测序仪; 多肽测序仪; 氨基酸分析仪; 超高速离心机; 高压液相色谱分析仪; 高分辨的多种电子显微镜, 包括透视、扫描、高压、隧道和原子力显微镜等; 各种分光光度计; X 光衍射仪; 核磁共振仪; 质谱分析仪; 激光扫描仪; 基因芯片点样仪、微阵列扫描仪; 生物传感仪、生物反应器和发酵罐; 液闪仪; 计数器; 基因转移仪, 主要有电激仪、基因枪、显微操作仪和注射仪等等。此外还有各种分子生物学试剂盒的研制与应用, 也为生物技术的发展提供了良好的条件。

1.1.4 其他 在上世纪, 农业生物技术, 以植物基因工程, 特别是农作物基因工程发展最为迅速, 其规模影响也最大。在上述基因工程主要理论和技术发展的背景下, 20 世纪农业生物技术有以下几项重要的技术突破, 为以后的强劲发展提供了重要基础^[4-7]。

(1) Chilton 等 (1977-1978) 应用农杆菌 Ti 质粒第一次无争议地将外源基因 (即 T-DNA 上的农杆菌基因) 成功地转化并整合进烟草细胞的基因组内;

(2) Schell, Zambryski, Montagu 等 (1981-1985) 成功建立了“解除武装”的 Ti 质粒、三亲交配技术和共培养技术, 使外源基因借助于农杆菌可转化至所有双子叶植物。1983 年 Zambryski 等首次获得转外源基因的烟草植株;

(3) 李宝健与美国科学家 Langridge 等 (1985) 合作,

首次成功应用电激法将外源基因导入植物。这一技术不仅适合于双子叶植物, 也可适合于单子叶植物的基因工程;

(4) Sanford, Klein 等 (1987) 建立的基因枪法, 又称微弹轰击法, 适合于将外源基因导入各种植物 (含农作物);

(5) 李宝健等 (1989-1991) 建立了农杆菌转化单子叶植物的技术^[6], 并首次获得外源基因在水稻基因组内整合与表达的证据^[7]。他们还在 1989 年至 1993 年间就农杆菌转化单子叶植物的问题共发表了 13 篇论文 (参考文献略)。Chan 等 (1993)、Hiei 等 (1994) 分别通过农杆菌介导法获得转基因水稻再生植株。此后, 在各国科学家的共同努力和改进下, 农杆菌介导的单子叶植物转化技术已经成为实验室中的常规技术。

1.2 20 世纪农业生物技术已取得的成绩

自 80 年代初 (1983) 首例转基因植物成功以来, 在短短 10 多年的时间内, 仅仅在农作物的改良方面, 农业生物技术就取得了显著的进展和成绩: 据国际农业生物技术应用服务机构 (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA, <http://www.isaaa.org/>) 统计及预测: 至 1998 年全球转基因作物的种植面积已达到 2780 万 hm^2 , 销售额达 12 亿~15 亿美元; 到 2000 年已达到 4420 万 hm^2 ; 2001 年首次突破 5 千万 hm^2 (达到 5260 万 hm^2)。2000 年全球转基因农产品市场销售额达到 30 亿美元, 预计 2010 年将达到 250 亿美元^[8-10]。迄今为止, 美国已批准 50 种转基因植物商品化。目前, 美国 1/4 的耕地种植转基因作物。其中转抗除草剂基因大豆占大豆种植总面积的 70% 以上, 转基因抗虫棉占棉田总面积 50%^[11]。在我国, 抗病毒烟草、抗虫棉等种植的面积也不断扩大。这些转基因作物的育成和推广, 在提高品质, 增产保收, 降低成本, 减少污染等方面, 多取得显著的效果。

据不完全统计, 国际上已有 35 个科的 120 多种植物获得转基因植物, 包括一些重要的农作物, 如: 水稻、大豆、小麦、玉米、棉花、油菜、向日葵、甜菜、马铃薯、番茄、甘兰、烟草, 还有果树, 如: 木瓜、苹果、柑桔等, 林木如: 杨树等^[12,13]。

据统计, 我国自 80 年代中后期至今已有 100 余种转基因植物获得成功, 其中 60 余种已获准进入田间试验或环境释放阶段^[12]。包括: 转抗虫、抗病、抗逆、品质改良、发育调控等基因。目前我国多从事跟踪、模仿研究, 因此极需加强拥有自己基因知识产权的研究。

不少转基因的家畜禽、水产品种已成功并处于中间试验阶段。应用基因工程培育抗病、抗逆的家养动物新品种, 研制家畜禽的新疫苗和新型药物制剂也取得了一定的进展。

我国及一些国家在农业动物的克隆、植物的快繁技术以及涉及农业生物的细胞工程、组织或胚胎工程等生物技术领域, 取得了显著的进展。

1.3 20 世纪农业生物技术发展的特点

综上所述, 20 世纪农业生物技术的发展有以下的特点:

①在短期内得到极其迅速的发展; ②从基础研究到产业化进程时间很短且经济及社会效益显著; ③研究应用的范围

不断扩大,更日益显示出其对国民经济发展及人类社会进步的意义。

2 21 世纪农业生物技术的发展展望

21 世纪是知识经济的时代。在 21 世纪中,迅猛发展的新的科学技术,将明显的对经济发展和人类社会进步起着决定性的作用。绝大多数专家一致认为:21 世纪是信息科学与生命科学的时代。在 21 世纪,生命科学将取得飞跃式的进步和变革。现已有越来越多的事实表明,生物技术现已处于新发明如潮涌一般不断出现的初期,这种发明创造高潮将会持续到 21 世纪中很长的一段时期。不久的将来,其发展的强劲潜力将超过信息技术并将对农业、医疗和环保产生革命性的影响。因此我们开展农业生物技术研究也必须认识到这一形势,要不错失时机和迎头赶上。

2.1 21 世纪农业生物技术的发展将依托的理论和基础

除了继续依托上世纪的理论和技術外,21 世纪的农业生物技术主要依托农业生物基因组计划即基因组学,另外还有 RNA 组学和蛋白质组学,这些已成为并将成为 21 世纪农业生物技术的发展依托的最重要的理论基础。要最终弄清每一种生物的遗传背景,就必须将各种生物体的基因组结构全部解析出来。当前将基因组计划明确分为两个阶段:第一阶段称为前基因组计划或测序基因组计划(指的是将一种生物体全部 DNA 的核苷酸序列破译出来);第二阶段称为后基因组计划或功能基因组计划(指通过研究弄清楚每一个特定 DNA 片段或序列在遗传学和生物学上的功能和意义),这是一项十分浩大的工程。2000 年已完成的人类测序基因组计划与曼哈顿原子弹计划、太阳神登月计划,同为自然科学史上的伟大工程。但人类基因组计划对人类的影响将是史无前例的。

在人类基因组计划的带动下,近年来也完成了部分与农作物有关的基因组计划。如水稻的测序基因组计划^[14,15];其中由中国完成的籼稻测序基因组计划得到了国际高度的认可及评价。另外国际上也完成了“植物果蝇”拟南芥菜的测序基因组计划^[16](<http://www.arabidopsis.org/>),这也具有十分深远的理论意义。现在,许多重要的农业动植物、微生物的测序基因组及功能基因组计划正在实施。此外,蛋白质组学已脱颖而出, RNA 组学正在酝酿并将形成学科体系,这两个学科将与 DNA 组学配套成为 21 世纪生命科学(也包括农业科学)发展的主要理论基础。

由于快速破译测序基因组的技术亦已基本成熟,当今几乎全世界各国顶尖的农业生物实验院(所)均已开始了对主要农业动植物和微生物的功能基因组学的研究,倾斜性地投入人力和物力,且不断创建崭新的实验体系、实验方法,发明更适宜于研究功能基因的实验仪器和分子生物学试剂。搞清生物体内每一个核苷酸片段遗传功能的涵义,是远比测序基因组更为艰巨的任务。但据估计,在 21 世纪中,人类将能够完成相当部分的农业动植物和微生物的功能基因组的研究,这些功能基因及其表达与调控的机制将会得到部分或全部的阐明。

功能基因组计划研究的成功,将意味着:①将克隆到与个体发育及生物钟有关的基因,进而使人类有可能控制农业动植物、微生物生长发育的各个过程;②将克隆到与各种复杂生理生化代谢途径有关的基因,因而人类可控制农业动植物、微生物的各种复杂的生理生化代谢途径,包括某种或某些代谢产物或药物的形成和生产;③将克隆到各种致病基因及其相应的正常基因,因而人类将有可能从根本上纠正农业动植物、微生物的遗传偏差或是突变,保证农业生产的正常发展;④将克隆到各种抗病或抗虫的基因,从而使农业动植物、微生物能抵御有害生物的侵扰;⑤将克隆到各种抗不良环境因子的基因,如:抗寒、抗旱、抗盐碱的基因等,从而可大大扩展农业生物适应的生态范围,使寒冷地区、干旱地区、盐碱地区的农业均能得到更好发展,甚至海洋农业也能实现规模化生产;⑥还将克隆到各种控制多基因性状的基因,即 QTLs,从而可控制农业生物的生产性状等^[2,3]。

最后,在基因组计划的带动下,人类将利用功能基因组研究所获得的极为丰富的基因资源,通过基因工程技术从遗传本质上改良农业动植物、微生物所有上述基因所控制的性状,从而实现农业新革命的目的。而要达到这一目的,尚需要新的配套的基因工程技术(见 2.3)。

2.2 21 世纪农业生物技术将取得成就的预测^[2-5,17-20]

(1) 进一步改良农作物的遗传性。创造出:高营养,高商品价值,高产和超高产,高抗多种病虫害,抗除草剂,抗寒,耐旱,耐盐碱的新型遗传工程农作物品种,为增产、增值,保持农业生产持续发展、保护农业生态环境和降低生产成本等做出重大的贡献。当然,这还包括对林木、花卉、草种等的重大的遗传改良。

(2) 进一步培育出优质、高产和抗病抗逆的家畜禽(包括水生动物)遗传工程新品种并加以应用。

总的来说,人类将能培育出一批全新水平的超高产、全面均衡营养、具高抗多抗性状的动植物、微生物超级优良品种,作为提供农业发展的遗传资源基础。

(3) 全球人口的急速增长以及现有耕地面积的日益缩小,对人类生存最基本的物质——粮食的需求,已形成日益增大的压力。但由于农业生物技术的应用,可使得:粮食的单位面积产量和质量进一步显著提高;家畜禽鱼的产量及质量进一步改善;人造食品源得到多样化发展和补充;改良的农作物可扩大种植于新的耕地(如现有的盐碱地,甚至海洋等)。伴随着全面规划和着力建成农业现代化的其他配套条件的成熟,从而有可能成功地养活 21 世纪中后期全球的 90 亿~100 亿人口。

(4) 21 世纪农业所提供的各种产品,将更具有多样化、平衡化的高营养价值,将逐步少受或不受农药、化学试剂及环境因素的污染,成为自然的、健康的绿色食品。有的更可成为药食同源的健康食品。这将是人类更加健康长寿十分重要的因素之一。更由于 21 世纪后基因组时代医学革命的进展,到 21 世纪中期,人的平均年龄将达 80~90 岁,甚至 90 岁以上(个别动乱国家除外)。

(5) 应用生物技术开拓新的食品来源和建立新的食品深加工技术。

在开拓新食品来源方面, 如: 针对蛋白质资源需求量大, 可利用蛋白含量高达干物质质量 50% 以上的藻类、微生物等, 通过应用生物技术生产食品蛋白或饲料蛋白。据估算, 一座年产 10 万吨单细胞蛋白的发酵厂, 可生产相当于 12 万 hm^2 耕地生产的大豆蛋白^[18]——这些将发展成为 21 世纪的大产业。

在食品深加工方面, 如: 美国已应用生物技术使苜蓿 90% 的蛋白含量成为食品, 并已形成一定规模的产业。在 21 世纪, 食品的深加工将会向功能食品、药食同源食品方向发展, 形成健康食品产业和连锁店。

(6) 在农产品加工方面, 如: 将我国年产 5 亿多吨的作物秸秆中的 20%, 用基因工程改良后的微生物发酵处理, 便有可能获得相当于 400 亿 kg 的饲料, 接近于目前我国每年饲料用量的一半^[19]。又如白薯或玉米的淀粉可通过生物工程加工成聚乳酸。这是一种可分解性的塑料, 这种塑料可制成各种工业上的零件, 如汽车、飞机上的零件, 也可以制成组织工程学中的骨架材料^[21,22]。当这种塑料被埋入土壤, 四周内便会变成粉末, 最后分解成二氧化碳和水。现在这种塑料的年需求量为 1.5 亿吨。另外, 很多农作物的秸梗通过发酵工程可生成酒精或甲烷, 这将是 21 世纪重要的补充燃料。而农业生产、加工、消费过程中产生的废物, 对其加工利用后也价值非凡, 如家畜禽的粪便经生物技术处理和科学加工后可成为无害有机农业的重要资源等。

(7) 应用生物技术研制新的家畜禽的疫苗及药物, 使家畜禽的病害(特别是涉及能感染人类的传染病, 如: 牛的疯牛病、鸡的禽流感等)能得到预防和有效治疗, 还包括家畜禽感染人类的途径, 病原基因组进化规律, 基因突变及基因漂移的可能性, 以及在人体的预防和治疗等, 以避免和减少如高致病性禽流感可能对人类社会造成的危害。另外, 植物保护的新技术, 如生物调节剂等的研制和应用, 微生物杀虫剂等的应用也可能使植物保护的技术面貌一新。

(8) 与基因工程配合将使各种细胞或组织工程技术得到更好的发展。如: 动物的克隆技术、试管后代、冷冻胚胎、胚胎移植和分割、干细胞研究及应用等。又如: 植物的人工种子、快繁技术、花药和子房培养、试管受粉和受精技术等。有的还有可能发展成巨大的产业。如: 优质花卉的快繁产业, 以干细胞分化培养为基础的产业等。克隆技术以及其他相关技术, 也将广泛应用于濒危动植物的保护。

(9) 与医药有关的新兴农业也将得到长足的发展。如应用转基因动物或植物作为“发酵罐”生产具有生物活性的药物以及标准化、规模化生产中药材等。

(10) 配合实施如退耕还林、保护生态等行政政策及规划措施, 应用生物技术于生态及生物多样性保护。应用基因工程培育和推广超级林木、超级花卉以及保护生态的动植物和微生物, 将使我们生存的地球变得越来越美丽, 越来越干净, 人类社会持续性发展的条件也将越来越完善。

2.3 21 世纪农业基因工程技术的发展方向^[23-29]

自 20 世纪 70 年代以来很长一段时期内, 人们通过基因工程技术, 仅仅利用 1 或 2 个基因来定向地改良单一的性状。而在本文 2.1 中所涉及的无论是发育的控制、代谢的特征或高抗多抗的性状, 直到产量和质量的性状, 都是多基因控制的。直至 20 世纪 90 年代末, 才开始有了将多个基因导入农作物的尝试^[25-28]。我们将应用 3 个或 3 个以上的基因对农作物进行多方面改良的策略, 称之为农作物改良的多基因策略。2000 年, Ye 等将 β -胡萝卜素(维他命原 A)合成途径基因引入水稻胚乳, 提高了水稻的营养价值。由于表达 β -胡萝卜素的转基因水稻种子呈金黄色, 故名“金米(Golden rice)”^[28]。“金米”的研制, 是多基因策略成功应用于农作物的一个范例。

近 10 年来, 中山大学生物工程研究中心基因工程教育部重点实验室一直致力于农作物改良的多基因策略。15 年来该室曾用于改良植物的基因共有 30 种, 其中来源于病毒的基因 4 种, 来源于细菌的基因 8 种, 来源于动物的基因 4 种, 来源于人的基因 5 种, 来源于异源植物的基因 11 种。利用上述的部分基因, 我们分别构建了含 3~8 个基因^[29]的表达载体共 30 多个。此外, 我们还应用基因枪法或农杆菌法, 通过单或共转化将上述多个基因导入具有实用意义的多个农作物品种中, 并对转基因当代及其后代(T_0-T_6 代)进行了系统的分子生物学鉴定和遗传学分析。

通过以上多年的研究, 获得如下的两点结论:

(1) 上述结果证明: 有可能在一个基因工程操作中同时应用不同生物来源的多个基因来改良高等生物体的多个遗传性状。因此, 我们认为多基因改良策略将会成为未来基因工程改良生物的主流方向。通过这一途径, 人类将有可能定向地同时改良农作物的多种性状, 与常规育种技术相结合, 将有可能培育出崭新水平的农业生物。

(2) 上述工作进一步证明: 由于遗传密码的统一性和同源性, 从低等生物到高等生物的各种来源的外源基因几乎均有可能在植物改良中加以应用。根据同一原理, 亿万种生物体的各种基因也将有可能在其他生物体的遗传改良中加以应用。目前, 在多基因改良策略的研究中, 我们已成功地同时应用了分别来自三、四种不同生物体的异源基因。今后多基因改良的研究将有可能同时应用亲缘关系更远的更多基因, 故其应用前景将会十分宽广并将具有无限的潜力。

关于多基因改良策略可能存在的问题, 根据我们的初步实践, 我们认为: ①多基因改良策略虽然具有许多至今尚无法准确评估的优点, 但并不一定是基因愈多, 亲缘关系愈远愈好, 必须根据基因工程的目的来确定选用那些基因和用多少个基因; ②尚应进一步大力开展功能基因组的研究, 克隆出更多有实用价值的功能基因以作为今后发展的基础; ③进一步改进多基因转化技术的细节, 如: 更好的含多个基因的表达载体的构建, 更有效的多基因转化方法的建立, 定点整合技术的建立以及启动子多样化等; ④虽然应用低等生物的基因改良高等生物的遗传性没有翻译后加工的障碍, 但将高等生物基因应用于对相对较低等

生物的改良,其翻译后的加工往往可能会出现障碍。这一难点涉及蛋白质组学和RNA组学,人类至今了解尚少,因此有待蛋白质组学和RNA组学的发展和配合,才能找到解决的方法;⑤应用多基因改良生物体有可能带来更为复杂的环境生态保护以及食品安全性的问题。但相信只要我们认真对待和深入研究,这些问题终将会获得解决。

2.4 21世纪农业生物技术发展所存在的问题及解决办法^[11,30-34]

任何新技术的发展,往往均有其有利的方面和不利的方面,我们应该采取的态度是:以十分积极的态度迎接新的知识经济时代的到来,充分发挥新技术能够给人类带来的积极作用,同时,应认真注意研究新技术可能带来的消极面,通过法律和技术配套等手段严格限制其消极面,使其消极面的影响达到最小的状态。

目前,农业基因工程改良的动植物、微生物新品种的推广主要存在着两个大的、应该予以充分重视并加以解决问题,即环境生态的安全性问题和以基因工程改良后的动植物为原料所做的食品的安全性问题。

2.4.1 环境生态安全性问题 将基因改造的生物(如基因改造的农作物)释放到自然界,通过花粉漂流,杂交繁殖,可能使周围生存的近源野生生物受到“基因污染”,甚至形成“超级杂草”和“超级害虫”等,而由于这些生物是有生命和有繁殖力的,因此也可能会得到蔓延而使其结果难以收拾。

但我们可以科学地利用“种质生殖隔离”及“生态隔离”等自然法则,对其加以控制。近10多年来,在大面积种植转基因农作物的国度里的实践证明:至少至今尚未发现有充分根据证明:种植基因工程作物会有严重的环境生态问题发生^[31-33]。

2.4.2 食品安全性问题 要严格执行我国颁布的及各国颁布的基因工程食品安全条例,经过严格食品安全检验才能上市。这样便可在一定程度上解决这个问题。当然在技术上也可采取不少措施,如近年我们实验室用于改良农作物的基因,多采用其他可食性农作物来源的基因,“安全性”的解决则自然寓于其中。美国推广转基因大豆、玉米已多年了,千百万人服食过转基因作物的食品,但至今尚未见其造成危害的申诉,可见目前上市的转基因食品基本上是安全的^[32]。

我们认为:关于转基因农作物安全性问题的科学讨论是有益的,但如果涉及了商业市场利益,或以宗教意识介入的立场来讨论问题,则应尽量予以避免。

2.4.3 其他应注意的问题 我们认为:要使21世纪的农业生物技术得到健康发展,尚应注意以下几个问题:

首先,人类要在后基因组时代实现新的农业革命的目的,仍需经过十分艰苦的努力,仍需加强基础理论研究。其次,当我们将研究重点放在基因及其表达的分子水平上时,仍应适当注意细胞水平、整体水平,以及这些生物体内不同水平的活动规律,还有它们同其生存的生态环境中各种因子间相互关系的研究。要避免将生物体的高级活动简化为某种分子的化学本质及其规律的研究。

另外,我们也应注意将传统农业技术的精华,如:有性杂交育种技术、杂种优势利用等,与农业生物技术有机地结合起来发展,使其各自发挥所长,才能有所突破。在任何时候,还需特别注意各种生物物种基因资源的收集、利用与研究。这仍将是后基因组时代农业基本遗传资源发展的基础,而且这还是经过亿万年进化,在大自然中所形成的十分宝贵的、一旦失去不能复得的资源。

最后,我们还应该注意农业生物技术与21世纪新型农业发展中诸新技术要素的结合,如计算机技术、航测技术、遥感技术、农业高密度集约工厂化、农业生态保护和持续发展综合技术、自动化控制的农业生产体系、节水农业体系和土壤生态健康体系的建立;绿色农业、白色农业以及海洋农牧化(蓝色农业)等的配合发展^[17-19]。因为只有这样,农业生物技术才有可能在综合应用高新技术所建立的21世纪的崭新农业天地中大显身手。

3 我国进一步发展农业生物技术必须具备的条件

适应国际竞争的巨大机遇,我国进一步发展农业生物技术必须具备如下条件:

(1) 创新性高科技人才的培养。我们认为:这涉及到教学体制、教学方法的改革,交叉学科人才的培养,培养模式多样化等问题。另外应留住人才并给予宽松条件使其得以良性发展;建立从国内外引进优秀人才的机制,还要要以中青年为主,老中青三结合等。

(2) 管理和科研体制的改革:实行真正有效的风险投资制;创造健全、宽松的科研条件及融资条件;建立各种公平合理的评议和管理体制;建立能使真正有才华的科学家获得相应支持的管理体制以及公平合理的奖励制度等。一项生物技术成果从开始到应用、推广,往往需要至少3~5a的时间,有的还需要8~10a的时间,并且只有多学科合作才能成功。适应这一情况的管理及拨款体制应予建立。

(3) 进一步开展国内、国际交流与合作等。应注意发挥我国制度的优势,集中力量有所作为。

最后,我们相信,在新世纪中,我国的农业生物技术,定能得到长足的、健康的发展。

参考文献:

- [1] ABELSON P H. A third technological revolution[J]. Sci, 1998, 279(5359):2019-2109.
- [2] 李宝健.展望21世纪的生命科学[J].生命科学,2000, 12(1):37-40.
- [3] 李宝健,翟中和,赵寿元.面向21世纪生命科学发展前沿[M].广州:广东科技出版社,1996:367-394.
- [4] 李宝健.论植物生物技术的形成与发展[J].中山大学学报论丛,1989,8(4):183-193.
- [5] 沈桂芳,丁仁瑞.现代生物技术与21世纪农业[M].杭州:浙江科学技术出版社,2000.
- [6] 李宝健,吴敏.以改进的农杆菌Ti质粒转化外源基因于单子叶植物花叶芋的研究[J].科学通报,1989(8):615-617.
- [7] 李宝健,欧阳学智,许耀.应用农杆菌Ti质粒系统将外

- 源基因转入籼稻细胞研究[J]. 中国科学(B 辑), 1990 (2): 144 - 149.
- [8] JAMES C. Global review of commercialized transgenic crops: 1998// ISAAA Briefs, No. 8[C]. New York: ISAAA, 1998.
- [9] JAMES C. Global review of commercialized transgenic crops: 2000// ISAAA Briefs, No. 23[C]. New York: ISAAA, 2000.
- [10] JAMES C. Global review of commercialized transgenic crops: 2001// ISAAA Briefs, No. 24[C]. New York: ISAAA, 2001.
- [11] 贾士荣. 转基因作物的安全性争论及其对策[J]. 生物技术通报, 1999, 15(6): 1 - 7.
- [12] 林琳. 21 世纪新的经济增长点: 转基因植物产业[J]. 科技广场, 2002, 7: 41.
- [13] 迟君道, 崔艳莉, 卢华. 转基因作物种质及生产概况[J]. 黑龙江农业科学, 2002, 2: 30 - 31.
- [14] YU J, HU S N, WANG J, et al. A draft sequence of the rice genome (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) [J]. Science, 2002, 296(5565): 79 - 92.
- [15] GOFF S A, RICHE D, LAN T H, et al. A draft sequence of the rice genome (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*) [J]. Science, 2002, 296(5565): 92 - 100.
- [16] The Arabidopsis Initiative. Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana* [J]. Nature, 2000, 408: 796 - 815.
- [17] 卢良恕. 21 世纪中国农业科技展望[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1993
- [18] 待开发的三色农业[J]. 技术与市场, 2000(2): 25 - 26.
- [19] 陶银鼎. 21 世纪农业发展展望[J]. 山西农业大学学报, 1999, 19(4): 359 - 361.
- [20] 范云六. 农业生物工程技术[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000.
- [21] 袭迎祥, 王迎军, 郑岳华. 可降解生物医用材料的降解机理[J]. 硅酸盐通报, 2000(3): 40 - 44.
- [22] 胡绍华, 谷清雄. 化学纤维工业和地球环境[J]. 合成纤维工业, 2002, 25(1): 30 - 33.
- [23] 李宝健, 许新萍, 冯道荣. 农作物改良的多基因策略研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1999, 21: 123 - 124.
- [24] 李宝健, 许新萍, 冯道荣, 等. 论改良生物体遗传性的多基因策略 I 多基因改良策略将成为未来基因工程的主流方向. II 多基因改良策略的应用前景及存在问题// 中国生物工程学会第三次学术讨论会论文集[C]. 2001: 130 - 132.
- [25] 冯道荣, 卫剑文, 许新萍, 等. 转多个抗真菌蛋白基因水稻植株的获得及其抗稻瘟病菌的初步研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1999, 38(4): 62 - 66.
- [26] 冯道荣, 许新萍, 邱国华, 等. 多个抗病抗虫基因在水稻中的遗传和表达[J]. 科学通报, 2000, 45(15): 1593 - 1599.
- [27] CHEN L L, MARMEY P, TAYLOR N J, et al. Expression and inheritance of multiple transgenes in rice plants [J]. Nature Biotechnology, 1998, 16(11): 1060 - 1064.
- [28] YE X D, AL-BABILI S, KLÖTI A, et al. Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm [J]. Science, 2000, 287: 303 - 305.
- [29] LIN L, LIU Y G, XU X P, et al. Efficient linking and transfer of multiple genes by a multi-gene assembly and transformation vector system [J]. PNAS, 2003, 100(10): 5962 - 5967.
- [30] 贾士荣, 郭三堆, 安道昌. 转基因棉花[M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [31] Agricultural Biotechnology in Europe. The Environmental Impact of Agricultural Biotechnology [D]. Issue Paper No. 3, 2002 (http://abeurope.dynamicweb.dk/images/files/abe_issues_paper_3.PDF).
- [32] National Academy of Science. Transgenic plants and world agriculture. Washington D C: National Academy of Science, 2000 (http://www.abc.org.br/arquivos/transABC21_en.rtf).
- [33] FERNANDEZ-CORNEJC J, MCBRIDE W D. Genetically engineered crops for pest management in U.S. agriculture: farm-level effects. Agriculture Economic Report NO. 786, 2000. (<http://www.ers.usda.gov/publications/aer786/aer786.pdf>).
- [34] 申茂向. 21 世纪前期中国农业技术发展战略与对策[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2000.

Prospects of Agricultural Biotechnology in the 21st Century: Agricultural Biotechnology of the Post-genome Era

LI Bao-jian, ZHU Hua-chen

(Key Laboratory of Gene Engineering of Ministry of Education// Biotechnology Research Center,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The theory and technology which drive the development of agricultural biotechnology in the 20th century are summarized, and the agricultural biotechnologies are comprehensively reviewed which were established and developed in a short time during last century. The authors believe that the agricultural biotechnology in the 21st century will be characterized by the post-genome era, thus will make great progress this century. Here are provided an all-round perspective of the revolutionary achievements and the issues that may arise in agricultural biotechnology; and the prerequisites that should be set up or fulfilled are pointed out, too.

Key words: agricultural biotechnology; post-genome era; 20th century; 21st century; prospects