

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

转基因食品

殷丽君

孔瑾

李再贵 编

化学工业出版社



国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

转基因食品

殷丽君 孔 瑾 李再贵 编

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

转基因食品/殷丽君, 孔瑾, 李再贵编. —北京:
化学工业出版社, 2002.1
(高新技术科普丛书)
ISBN 7-5025-3589-6

I. 转… II. ①殷…②孔…③李… III. 基因转变-
食品-普及读物 IV. TS2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 087018 号

高新技术科普丛书

转基因食品

殷丽君 孔瑾 李再贵 编

总策划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 刘俊之

责任校对: 李林

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 5 $\frac{3}{4}$ 字数 148 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3589-6/Q·13

定 价: 13.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《高新技术科普丛书》编委会

主任

路甬祥 中国科学院院长，中国科学院院士，
中国工程院院士

委员

汪家鼎 清华大学教授，中国科学院院士

闵恩泽 中国石油化工集团公司石油化工科学研究院教授，
中国科学院院士，中国工程院院士

袁 权 中国科学院大连化学物理研究所研究员，中国科学院院士

朱清时 中国科学技术大学教授，中国科学院院士

孙优贤 浙江大学教授，中国工程院院士

张立德 中国科学院固体物理研究所研究员

徐静安 上海化工研究院（教授级）高级工程师

冯孝庭 西南化工研究设计院（教授级）高级工程师

序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我们周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21 世纪是信息时代，21 世纪是生命科技的世纪，21 世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的年代，21 世纪是高效、洁净和安全利用新能源的年代，21 世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21 世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的年代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999 年 8 月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技

术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

浩角祥

2000年9月

前言

对食品数量和质量上的不断追求，要求人们不断利用先进的生物技术手段开发新的食物来源。因而生物技术成为 20 世纪末发展最为迅速的高新技术之一。生物技术的发展，特别是以基因工程、发酵工程、细胞工程为代表的现代生物技术的发展促使发酵、食品、轻工等传统产业发生了深刻的变革，同时为人类解决人口膨胀、食物短缺、能源匮乏、疾病防治和环境污染等问题带来了新的希望。可以预期以生物技术为基础的转基因食品产业将在本世纪得到更规范、更深层的发展，它的进步将推动整个食品业的发展，并对提高人类的身体素质起到举足轻重的作用。

从发现 DNA 双链结构到人类基因组计划和线虫、水稻、拟南芥基因组计划的完成，今天后基因组计划（蛋白质组计划）也已走上日程，人类对遗传物质的结构和功能以及表达和调控有了全面和深入的认识。这为通过对遗传物质的修饰和改造，定向地获取人类所需的成分打下了基础。尤其是微生物发酵技术的发展、农作物高频再生系统的建立以及动物克隆技术、人工授精和胚胎移植技术的发展，使经过遗传改造的食品进入商业阶段。遗传改良的农作物在口感、营养、质地、颜色、形态、成熟度比传统的杂交育种具有更为明显的优势，而“克隆羊”的诞生标志着克隆技术繁殖有益于人类健康的优良禽畜成为可能。转基因食品行业在我国是一个新兴的高新技术行业，目前尚处于技术“初创期”。但是，该行业在美国、欧盟等发达国家已有 20 多年历史，现已进入产业化发展阶段。在西方发达国家，转基因技术已在农作物、蔬菜、水果以及家畜类食品中广为应用。据统计，1998 年全球转基因玉米、大豆和棉花已分别占总产量的 15%、30% 和 50%。有人预测到 2020 年世界上 80% 的农作物将是转基因作物。目前转基因牛、羊、猪等也已相继

问世，相信在不远的将来转基因畜产品也会走入我们的生活。抗逆、产量高、具有超量表达的同源有机物、异源有机物的农作物、家畜、微生物将令人类的生活变得更加丰富多彩。

然而转基因食品的安全性却一直是一个有争议的问题，随着转基因食品离人类生活越来越近，这种争论也更趋激化。为了缓解矛盾，一些国家通过制定有关转基因食品标签的规定，建立健全的生物技术安全法规，进一步严格转基因作物的审批程序，加强政府的宏观管理等措施来减轻人们的担心。总的来说，转基因食品对人类的健康和生态环境是否存在危害性，还有待于科学研究进一步的证明，对转基因食品安全性评价的标准也需要统一。不过，如何对转基因食品安全性进行正确的评价，不但关系到人们的饮食安全和身体健康，也事关环境保护和资源多样性等对子孙后代有影响的课题。因而，对转基因食品安全性可能存在的问题我们必须采取慎重对待和积极研究的态度，但又要防止偏听偏信和盲目悲观。

本书以转基因的基本技术为基础，详细介绍了转基因食品的生产、应用现状和检测方法，并对国内外转基因管理机构 and 法规、安全性方面的认识和争论进行了较为详细的介绍。以使读者对转基因食品有一个全面的了解。

本书第1章、第4章由中国农业大学殷丽君编写，第2章由中国科学院遗传研究所孔瑾编写，第3章由北京大学医学部曲桂芹编写，第5章由中国农业大学李再贵编写。奥克拉哈玛州立大学的安寒冰博士、清华大学的尹鸿瑛博士也参与了部分编写工作。

由于水平有限，书中疏漏和错误在所难免，衷心期待读者的批评和建议。

编者

2001年11月

内 容 提 要

本书是化学工业出版社组织出版的第二批“高新技术科普丛书”之一。本书简要介绍了转基因技术的基本原理，着重阐述转基因食品目前的发展状况和未来的发展方向，对人类生活造成的深远影响，具体的转基因食品的性状和生产情况，转基因食品的安全问题及管理办法。

本书深入浅出地介绍了转基因技术基本知识和实际应用，以及敏感的安全性问题。可供农业、食品行业、对外贸易、生物技术、生态环境等部门的工程技术人员、管理人员及政策制定人员使用，也可作为大专院校师生的参考书。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 转基因食品的定义和分类	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 分类	2
1.2 国内外转基因食品的研究、发展概况	3
1.3 研究转基因食品的目的和意义	9
第 2 章 转基因技术的基本理论	13
2.1 转基因植物	13
2.1.1 植物的转化体系	14
2.1.2 植物转化的启动子	22
2.1.3 用于生产植物性转基因食品的目的基因	25
2.1.4 转基因植物的遗传特性	34
2.1.5 转基因植物田间释放及其安全性	36
2.2 转基因动物	37
2.2.1 动物的转化体系和方法	37
2.2.2 用于动物转化的基因	43
2.2.3 转基因动物的遗传设计	45
2.2.4 染色体定位整合设计	47
2.2.5 转基因在宿主细胞内的整合与表达	49
2.2.6 转基因动物实用化的展望	54
2.3 利用遗传改造的微生物进行的生产	55
2.3.1 大肠杆菌表达系统	56
2.3.2 酵母表达系统	56
2.3.3 棒状杆菌表达系统	56
2.4 转基因食品生产的工艺流程	57
第 3 章 转基因食品的检测和分析	60
3.1 转基因阳性个体的分子鉴定	61

3.1.1	多聚酶链式反应 (PCR) 技术	61
3.1.2	斑点印迹法	65
3.1.3	Southern 印迹法	65
3.2	外源基因的表达分析	65
3.2.1	转录水平的检测	66
3.2.2	翻译水平的检测	67
3.3	基因芯片技术在转基因食品鉴定中的应用展望	70
第 4 章	基因工程在食品工业中的应用	72
4.1	基础性食品原料	72
4.1.1	动物性食品原料	72
4.1.2	植物性基础原料	77
4.2	发酵食品	93
4.2.1	面包	94
4.2.2	酱油	94
4.2.3	啤酒	95
4.2.4	奶制品	96
4.3	食品添加剂	99
4.3.1	酶制剂的生产	100
4.3.2	氨基酸	109
4.3.3	甜味剂	120
4.3.4	香料	121
4.4	保健食品	122
4.5	特殊食品——植物免疫食品	122
第 5 章	转基因食品的安全性评价与展望	124
5.1	实质等同性原则与安全性评价的主要内容	124
5.1.1	实质等同性原则的定义和转基因食品分类	124
5.1.2	确定实质等同性时的比较内容	126
5.2	关于转基因食品安全性的争议	127
5.2.1	转基因作物对生态环境可能造成一定的影响	129
5.2.2	标记基因的传递可能引起的抗生素耐性	130
5.2.3	转基因食品引起食物过敏的可能性	131
5.2.4	其他	132
5.3	发达国家对转基因技术和食品的有关政策	135

5.3.1 美国	135
5.3.2 欧盟	141
5.3.3 日本	142
5.4 我国对转基因技术的态度和转基因食品的管理	145
5.5 我们该如何面对转基因食品	148
5.6 转基因技术的发展方向和未来展望	153
附录一 农业转基因生物安全管理条例	156
附录二 新资源食品卫生管理办法	166
附录三 生物工程技术名词	168
参考文献	170

第 1 章 绪 论

基因工程技术从 20 世纪 70 年代诞生以来，得到了迅速的发展，并且日益深入到与人们生活息息相关的食品工业中，使得食品的概念从农业食品、工业食品发展到基因工程食品。基因工程食品以全新的面貌成为庞大的食品家族体系中的一名新成员。

1.1 转基因食品的定义和分类

1.1.1 定义

转基因食品（genemodified food, GM Food）又称基因改性食品。从狭义上说，是利用分子生物学技术，将某些生物（包括动物、植物及微生物）的一种或几种外源性基因转移到其他的生物物种中去，从而改造生物的遗传物质使其有效地表达相应的产物（多肽或蛋白质），并出现原物种不具有的性状或产物，以转基因生物为原料加工成的食品就是转基因食品。这里所指“外源性基因”，通常是指在生物体中原来不存在的基因，在某些情况下也可指在生物体中存在这种基因但不表达。因此，转移了外源基因的生物体会因产生原来不具备的多肽或蛋白质而出现新的生物学性质（表型）。一种生物体新表型的产生，除可采用转基因技术外，也可对生物体本身的基因进行修饰而获得，在效果上等同于转基因，这便是广义上的转基因生物。产量高、营养丰富和抗病能力强是转基因生物的优势。

基因工程技术涉及范围广泛，其中大部分与食品有关。按生物种类的不同，在食品领域中具有实用价值的基因工程技术可分为以下三方面。

（1）植物性食物。主要培育延缓成熟、耐极端环境、抗虫害、抗病毒、抗枯萎等性能的作物，提高生存能力；培育不同脂肪酸组

成的油料作物、多蛋白的粮食作物等以提高作物的营养成分。主要品种有小麦、玉米、大豆、蔬菜、水稻、土豆、番茄等。

(2) 动物性食物。转基因在动物的生产中主要以提高动物的生长速度、瘦肉率、饲料转化率，增加动物的产奶量和改善奶的组成成分为主要目标。主要应用于鱼类、猪、牛等。

(3) 微生物。改造有益微生物，生产食用酶，提高酶产量和活性。主要有转基因酵母、食品发酵用酶。

1.1.2 分类

转基因食品按功能可以分为以下类型。

(1) 增产型 农作物增产与其生长分化、肥料、抗逆、抗虫害等因素密切相关，通过转移或修饰相关的基因可以达到增产效果。

(2) 控熟型 通过转移或修饰与控制成熟期有关的基因使转基因生物的成熟期延迟或提前，以适应市场需求。最典型的例子是成熟速度慢，不易腐烂，易贮存。

(3) 高营养型 例如：许多粮食作物缺少人体必需的氨基酸，为了改变这种状况，可以从改造种子贮藏蛋白质基因入手，使其表达的蛋白质具有合理的氨基酸组成。现已培育成功的有转基因玉米、土豆和菜豆等。

(4) 保健型 通过转移病原体抗原基因或毒素基因至粮食作物、果树及动物中，使其产生相应的抗体。食用此类食品，相当于在补充营养的同时服用了疫苗，起到预防疫病的作用。

(5) 新品种型 通过不同品种间的基因重组形成新品种，此类转基因食品在品质、口味、色泽、香气方面具有新的特点。

(6) 加工型 由转基因产物作原料，按照食品工业各类食品的加工工艺加工制成。花样最为繁多。

从理论上讲，转基因食品的主要营养构成与非转基因食品并没有区别，都是由蛋白质、碳水化合物和脂肪等物质组成。但如果从营养成分的基因改良角度考虑，则会使食品的氨基酸、碳水化合物、脂肪酸以及其他微量成分的种类及构成高分子物质的排列顺序有所变化。这些变化并不会影响人类的饮食结构，也不

会对人体健康带来负面的影响。然而由于转基因技术和对其安全管理制度的不完善，转基因食品确实存在对人类健康形成威胁的可能。例如：外源基因的插入具有随机性，其插入位置的准确性影响其性状的表达；引入外源基因是否会在受体内产生毒素，在转基因过程中用来大量复制 DNA 的微生物是否对人体有害等都有待进一步检验证明。另外，转基因技术能否对人类所处的生态环境、食物链等形成间接的影响也引起人们广泛的关注。因此，转基因食品技术的发展在带来诱人的前景的同时，也带来了新的挑战。

1.2 国内外转基因食品的研究、发展概况

自古以来，人们就从不断繁衍的动物、植物群体中有选择地获取自己所需要的食物。通过有性杂交、观察和选择具有优良性状的动物、植物品种进行扩大繁殖、改良，以满足人们摄取更高水平食物的需要。传统的杂交育种工作耗费时间长，通常需要 8~10 年的时间。随着世界可耕地面积持续减少，而人口却以每年 0.8~1.0 亿的速度增长，因此能够提高食物的产量和品质、增加营养素含量的新技术越来越受到广泛的关注。

1953 年，DNA 双螺旋结构被鉴定出来，生物技术领域迅猛发展，生物性状是由特定基因决定的理论基础的奠定，促使生物改良基因工程技术应运而生。利用转基因技术定向改造作物，从而大大加速了优良作物的筛选和培育过程。到目前为止，基因工程已经在动物、植物和微生物的基因改良中广泛应用。转基因食品由此产生、发展，并成为食品领域的新热点。1983 年世界上第一株基因植物——一种对抗生素产生抗体的烟草出现；1990 年第一例转基因棉花种植试验成功；1994 年一种可以抵御番茄环斑病毒病的西红柿被美国食品与药物管理局（FDA）批准在美国上市销售。1996 年美国人又最早将部分转基因食品（大豆、玉米、油菜、土豆和西红柿）推上商业化的进程，目前，美国共有 43 种动物、植物转基因产品通过食品药物管理局认证，世界上众多国

家（其中包括发达国家和发展中国家）也都紧随美国之后开始对转基因食品进行研究并使得部分研究成果进行商业化运作，并正在形成可观的产业规模。全球转基因食品的商业化种植情况可从以下情况一窥端倪：2000 年全球转基因作物种植面积是 4420 万公顷（1 亿零 920 万英亩），相当于英国国土面积的 2 倍。值得注意的是，2000 年是首度全球种植面积超过 1 亿英亩（1 英亩 = 0.4047 公顷），与 1996 年的 170 万公顷相比增长了 25 倍。而且在 1996 至 2000 年的五年间，种植转基因作物的国家数量亦翻了一倍多，从 1996 年的 6 个，到 1998 年的 9 个，直至 1999 年的 12 个和 2000 年的 13 个国家，目前的这 13 个国家中有 8 个是工业化国家，5 个是发展中国家。

到 2000 年，转基因作物种植面积位居前 4 位的国家占了种植总面积的 99%。需要注意的是，它们是两个发达国家——美国 and 加拿大，以及 2 个发展中国家——阿根廷和中国，其中美国占 68%，阿根廷占 23%，加拿大占 7%，中国占了 1%，余下的 1% 种植在其他的 9 个国家中，其中只有南非和澳大利亚的种植面积超过了 10 万公顷（25 万英亩）。这一增长态势反映了工业化国家和发展中国家的农民们均已逐步接受了转基因作物。

转基因作物的商业化种植已经遍布六大洲——北美洲、拉丁美洲、亚洲、大洋洲、非洲和欧洲（东、西欧），在 2000 年商业化种植的规模和面积相对 1996 年翻了几番。

发展中国家转基因粮食的种植面积也连年增加：从 1997 年的年递增 14%，到 1998 年的 16%，1999 年的 18%，直至 2000 年 24% 的增长率。由此可见，在 2000 年，全球转基因作物种植面积 4420 万公顷中的大约 $\frac{1}{4}$ ，即 1070 万公顷，种植在发展中国家。

尽管转基因食品的研究已有几十年的历史，但真正的商业化是自 20 世纪 90 年代以后的事。自 90 年代初第一个转基因食品出现在美国市场上以来，越来越多的转基因食品在世界范围内被认同。美国的转基因食品的研究开发主要是三大化学公司——杜邦、孟山都和陶氏，他们投资于其他公司专门从事转基因工程的研发，例如

杜邦曾投资 17 亿美元，用于高含油玉米的基因工程中，使玉米的含油量从通常的 3.5% 上升至 8.5%，1998 年该品种玉米的种植面积在美国已达 200 万英亩 [1 英亩 = 0.4047 公顷 (ha)]；孟山都公司主要研究成功抗除草剂大豆品种。目前，正在研究的项目还有：改善大豆蛋白质的氨基酸构成，使其具有肌肉蛋白质的营养特性；含 ω -3 不饱和脂肪酸的高含油大豆；增加马铃薯的固形物含量以减少炸薯条用油；耐贮存的延熟番茄；含 40% 月桂酸的油菜子等农作物。

在众多转基因食品中，基因作物的种植量增长最快，主要体现在以下几个方面。

(1) 播种面积不断扩大 1996 年全球转基因作物种植量为 170 万公顷，1997 年为 1100 万公顷，1998 年为 2780 万公顷，1999 年增加到 3990 万公顷，2000 年底转基因作物种植面积达到 4420 万公顷，专家估计到 2010 年，将增至 6000 万公顷。截止到 1998 年，世界各国批准进行转基因作物大田示范的项目达 4837 项。转基因食品无论在数量上还是在品种上都已具备了相当的规模。

(2) 作物品种相对集中 目前，转基因作物主要涉及大豆、棉花、油菜和玉米。1998 年，转基因大豆占到世界大豆种植总面积的 36%，棉花占 16%，油菜占 11%，玉米占 7%。

(3) 分布国家增长了 1 倍多 全球种植转基因作物的国家数量已从 1996 年的 6 个增加到 2000 年的 13 个（其中 8 个是工业化国家，5 个是发展中国家）。

(4) 大豆占总播种面积的一半 2000 年在全球转基因作物中唱主角的是转基因大豆，其面积占总播种面积的 58%。在阿根廷，960 万公顷的大豆中有 95% 是转基因品种，美国、巴西的大豆绝大部分也都是转基因品种。英国的研究报告也显示该国超过 7000 种的婴儿食品、巧克力、冷冻甜品、面包、人造奶油、香肠、肉类产品和代肉食品等日常必需品，可能含有经过基因改造的大豆制品。