



普通高等教育“十三五”规划教材

食品基因 工程导论

INTRODUCTION TO FOOD GENETIC ENGINEERING



生吉萍 申琳 罗云波 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

食品基因工程导论

INTRODUCTION TO FOOD GENETIC ENGINEERING

上架建议：食品工业

ISBN 978-7-5019-7131-2



9 787501 971312 >

定价：40.00 元

普通高等教育“十三五”规划教材

食品基因工程导论

主 编 生吉萍 申 琳 罗云波



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品基因工程导论/生吉萍, 申琳, 罗云波主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2017. 2

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5019 - 7131 - 2

I. ①食… II. ①生…②申…③罗… III. ①食品 - 外源 - 遗传工程 - 高等学校 - 教材 IV. ①TS201.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 163725 号

责任编辑: 伊双双 赵梦瑶 责任终审: 张乃柬 封面设计: 锋尚设计
策划编辑: 伊双双 版式设计: 王培燕 责任校对: 燕 杰
责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京君升印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2017 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 18.75

字 数: 420 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7131-2 定价: 40.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

061047J1X101ZBW

本书编写委员会

主 编 生吉萍 (中国人民大学)

申 琳 (中国农业大学)

罗云波 (中国农业大学)

编 者 (按拼音顺序排名)

程凡升 (青岛农业大学)

邓丽莉 (西南大学)

丁 洋 (中国农科院加工所)

范 蓓 (中国农科院加工所)

付达奇 (中国农业大学)

郝彦玲 (中国农业大学)

李大鹏 (山东农业大学)

吕英民 (北京林业大学)

庞 杰 (福建农林大学)

曲桂芹 (中国农业大学)

申 琳 (中国农业大学)

生吉萍 (中国人民大学)

史学群 (海南大学)

汪绍云 (福州大学)

魏绍冲 (山东农业大学)

严志明 (福建农林大学)

张新华 (山东理工大学)

张雅丽 (中国农业大学)

赵 珩 (中央民族大学)

赵瑞瑞 (中国农业大学)

郑亚风 (福建农林大学)

朱本忠 (中国农业大学)

郑 杨 (国家食品药品监督管理总局高级研修学院)

赵丹莹 (北京市西城区疾病预防控制中心)

朱宏亮 (中国农业大学)

审 稿 茹炳根 (北京大学)

吴显荣 (中国农业大学)

前 言

基因工程自从 20 世纪 70 年代诞生以来,以势不可挡的速度发展,取得了许多令人激动的成就。基因工程的应用领域越来越广泛,食品行业已成为其中最具活力、最引人注目的应用领域之一。

食品基因工程主要是指基因工程在食品领域的应用。基因工程对食品影响之深远、潜力之巨大,是我们目前无法估量的。食品基因工程的发展,急需大批的专业人才,也需要培养足够的后备力量。为此,编写一本适合我国食品专业及其相关专业学生使用的教科书十分必要。本书是在整理了多所大学近些年来食品专业和生物工程专业所学基因工程课程教案的基础上完成的,着重阐述食品基因工程的基本理论和技术,通过案例介绍基因工程在食品领域中的应用,引用了该领域的最新研究进展,力求体现食品学科的特点,在内容和形式上有所创新。

本书共分十章,分别阐述食品基因工程的工具酶、常用载体、常用数据库与设备、基本操作技术,以及基因的克隆技术、转化技术、表达与调控、基因工程食品的检测、食品功能基因及其应用等内容。本书由全国多所院校共同参与编写,汇集了从事本领域研究和教学的前沿力量,同时也有在校学生的思想和要求的反映,是集体智慧的结晶。

本书编写人员的分工如下:第一章由生吉萍、罗云波编写,第二章由申琳、范蓓编写,第三章由汪绍云、郑杨、赵珩编写,第四章由生吉萍、程凡升、赵瑞瑞、邓丽莉编写,第五章由郝彦玲、生吉萍、丁洋编写,第六章由曲桂琴、郑亚风、张新华、魏绍冲、吕英民编写,第七章由李大鹏、张雅丽、朱本忠、刘开朗编写,第八章由申琳、生吉萍、付达奇、严志明编写,第九章由生吉萍、赵丹莹、史学群、张新华编写,第十章由王秀芹、郝彦玲、生吉萍、朱宏亮编写。另外,陈鑫瑶、李志巡、杨美静、马骏飞等硕士研究生在资料搜集、稿件的校对过程中做出了突出贡献。在编写和审稿过程中,得到茹炳根教授、吴显荣教授的悉心指导和审阅,以及中国轻工业出版社的大力协助。

由于时间紧迫、内容涉及面广以及生物技术发展的日新月异,限于作者的水平和经验,书中疏漏和不妥之处在所难免,衷心期待诸位同仁和读者的斧正,并致诚挚的谢意。

生吉萍、申琳、罗云波
于北京
2016. 12

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 食品基因工程的概念与理论基础	(1)
第二节 食品基因工程的研究内容	(4)
第三节 食品基因工程的发展与应用概况	(4)
第四节 食品基因工程发展面临的问题	(11)
第二章 食品基因工程常用工具酶	(16)
第一节 限制性核酸内切酶	(16)
第二节 DNA 连接酶	(29)
第三节 DNA 聚合酶	(33)
第四节 碱性磷酸酶	(45)
第五节 核酸酶	(46)
第六节 逆转录酶	(48)
第三章 食品基因工程常用载体	(51)
第一节 基因工程载体的基本特征及种类	(51)
第二节 基因工程载体的基本结构	(52)
第三节 质粒载体	(54)
第四节 病毒载体	(63)
第五节 噬菌体载体	(69)
第六节 黏性质粒载体	(77)
第七节 表达载体	(78)
第四章 食品基因工程常用数据库与设备	(82)
第一节 食品基因工程常用数据库及使用方法	(82)
第二节 食品基因工程常用设备及使用方法	(99)
第五章 食品基因工程操作基本技术	(110)
第一节 凝胶电泳技术	(110)
第二节 细菌转化技术	(114)
第三节 核酸分子杂交技术	(119)
第四节 DNA 核苷酸序列分析技术	(125)
第五节 基因合成技术	(130)
第六节 基因扩增技术	(135)
第六章 基因克隆技术	(143)
第一节 目的基因的选择策略	(143)
第二节 基因文库技术分离目的基因	(147)
第三节 基因芯片技术分离目的基因	(151)

第四节	PCR 技术在分离克隆基因中的应用	(153)
第五节	mRNA 差别显示技术分离目的基因	(157)
第六节	插入突变分离克隆目的基因	(160)
第七章	基因转化技术	(170)
第一节	基因工程基因转化载体的构建	(170)
第二节	转化受体系统的建立	(173)
第三节	农杆菌质粒介导的基因转化	(178)
第四节	病毒载体介导的基因转化	(185)
第五节	DNA 直接导入的基因转化	(192)
第八章	基因的表达与调控	(198)
第一节	转基因植物中外源基因的整合特性	(198)
第二节	转基因植物中外源基因整合的遗传效应	(202)
第三节	外源基因的表达	(204)
第四节	反义基因技术调控基因的表达	(206)
第五节	RNA 沉默技术调控基因的表达	(209)
第九章	基因工程食品的检测	(216)
第一节	报告基因的表达检测	(216)
第二节	外源基因的 Southern 杂交检测	(222)
第三节	外源基因的 Northern 杂交检测	(230)
第四节	外源基因表达蛋白的检测	(233)
第五节	外源基因整合及表达的原位杂交检测	(238)
第六节	外源基因的 PCR 检测	(245)
第七节	外源基因整合及表达的其他分析方法	(249)
第十章	食品功能基因及其应用	(253)
第一节	控制果实成熟的基因	(253)
第二节	谷物种子贮藏蛋白基因	(256)
第三节	淀粉品质改良基因	(263)
第四节	脂肪酸组成改良基因	(269)
第五节	植物甜蛋白基因	(273)
第六节	生物抗逆性基因	(276)
第七节	八氢番茄红素合成酶基因与转基因金色水稻	(284)
参考文献		(288)

第一章 绪 论

- 教学目标:**
1. 掌握食品基因工程的基本概念;
 2. 了解食品基因工程的研究内容;
 3. 认识食品基因工程在食品工业发展史中的地位及其在食品工业中的作用。

基因工程 (genetic engineering) 作为生物技术的核心内容, 已成为现代高新技术的标志之一。它从诞生至今虽只有 40 多年的历史, 但无论是在基础理论研究领域, 还是在生产实际应用方面都取得了惊人的成绩, 日益受到世界各国政府和社会各界的重视, 形成了全球性的“生物技术热”。各国政府也竞相制定发展计划, 投入巨额资金, 实行优惠政策, 促进生物技术的发展。一批以生物技术产品为开发内容的公司、企业, 在世界范围内如雨后春笋般地建立起来, 一个新兴的高技术生物产业已经形成。

作为新技术, 基因工程已经对人类产生了深刻的影响。首先, 基因工程给生命科学自身的研究和发展带来了深刻的变化。目前, 科学家已完成了多种生物的基因组全序列测定工作, 其中最令人瞩目的是“人类基因组计划”。这个计划从最基本层面深入认识人类自身的生物特征, 同时逐步查清基因与疾病的对应关系, 达到基因治疗和改造人类有害基因的目的。其次, 基因工程给工农业生产带来了巨大的经济效益。基因工程技术能使动物、植物、微生物具有它们原来所没有的全新特征, 能“创造”动物、植物、微生物优良新品种, 改善作物品质, 增加作物产量, 开辟食物新来源; 可以减少合成杀虫剂的使用, 减少环境污染, 使粮食更安全; 还能培育出具有生物反应器功能的生物工程动物、植物和微生物, 在常温常压下生产珍贵药品。

人们相信, 当代人类社会所面临的人口增加、食品短缺、资源匮乏、环境污染加剧、疑难病症诊断和治疗等重大问题, 都将在不同程度上依赖于基因工程技术的发展和应用。所以, 生物技术蕴藏着巨大的经济潜力和社会效益, 将给农业带来新的绿色革命, 使食品、环保、海洋、能源开发等有关领域得到前所未有的发展。

第一节 食品基因工程的概念与理论基础

一、基因工程和食品基因工程的概念

鉴于人们目前的认识, 生物对于遗传信息的传递遵循着由 DNA 传递到蛋白质的过程, 即我们所熟悉的中心法则 (central dogma, 图 1-1)。自然界中存在着种类繁多而又各具特色的物种, 有的能耐高温, 有的能抗拒严寒, 有的能适应干旱沙漠的环境。这些物种是在漫长的演变和生物进化中, 通过基因重组、基因突变、基因转移等途径不断地进化和演变, 才出现了目前所特有的性状, 构成了自然界丰富多彩的生物多样性。但是, 绝大多数生物演变的过程受自然界严格的自然环境筛选, 因此具有很大的随机性。人类按照自身的

意愿,进行严密的设计,通过体外 DNA 重组技术和转基因技术等,有目的地改造物种特性,使现有的物种能在较短时间内趋于完善,创造出更符合人类需求的新的生物类型,这就是基因工程的核心思想。

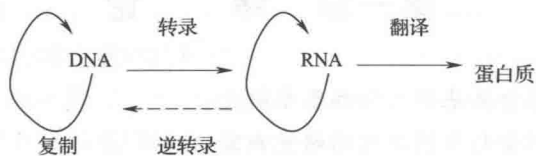


图 1-1 生物遗传信息的表达途径——中心法则

1. 基因工程的概念

所谓基因工程,是指用人工的方法把不同生物的遗传物质(基因)分离出来,在体外进行剪切、拼接、重组,形成基因重组体,然后再把重组体引入宿主细胞或个体中以得到高效表达,最终获得人们所需要的基因产物(图 1-2)。

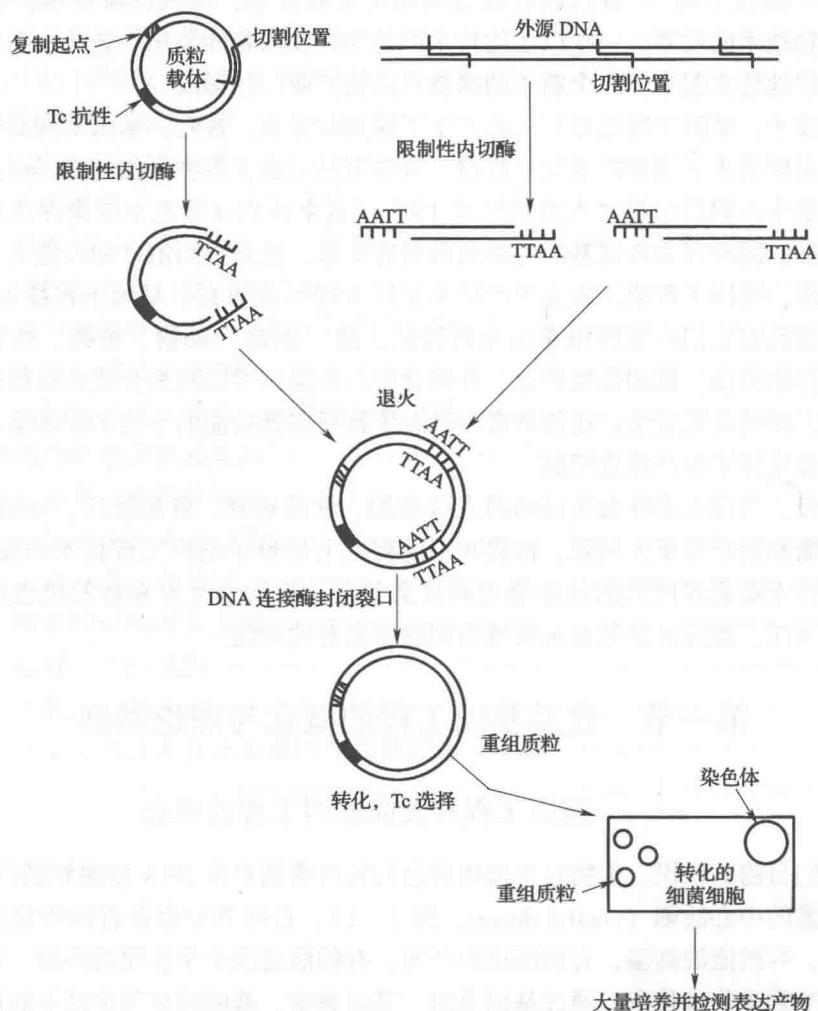


图 1-2 基因工程的基本过程

资料来源:罗云波,生吉萍,2006。

基因工程的基本过程就是利用重组 DNA (recombinant DNA) 技术, 在体外通过人工“剪切”(cut) 和“拼接”(splice) 等方法, 对生物的基因进行改造和重新组合, 然后导入受体细胞内进行增殖, 并使重组基因在受体内表达, 产生出人类所需要的基因产物。

2. 食品基因工程的概念

所谓食品基因工程, 是指用基因工程的方法培育新型的细胞、细胞器或个体, 用以生产人们所需要的食品或食品原料的过程。更具体一些, 食品基因工程是利用基因工程的技术和手段, 在分子水平上定向改造遗传物质, 以改良食品的品质和性状, 提高食品的营养价值, 改善食品贮藏加工性状以及感官性状的技术。

应用基因工程技术能对物种进行定向改造, 在农业上能大大缩短育种年限, 具有目的性强、可操作性好以及效果明显等特点。它最突出的优点是打破了常规育种难以突破的物种之间的界限, 可以使原核生物与真核生物之间、动物与植物之间, 甚至人与其他生物之间的遗传信息发生重组和转移, 比如人的基因可以转移到酵母菌中进行表达, 细菌的基因可以转移到植物中表达。近年来, 基因工程技术的发展为食品产业提供了新的发展契机, 也为世界所面临的粮食短缺以及品质要求找到了新的解决途径。通过基因工程的技术和手段, 可以在分子水平上定向改造遗传物质, 改良食品的品质和性状, 提高食品的营养价值, 改善食品贮藏加工性状以及感官性状。

3. 基因工程的相关名词

基因工程的称谓很多, 常见的有遗传工程 (genetic engineering)、基因操作 (genetic manipulation)、重组 DNA 技术 (recombinant DNA technique)、基因克隆 (gene cloning)、分子克隆 (molecular cloning) 等。这些术语所代表的具体内容都是彼此相关的, 在许多场合下相互替代使用, 很难严格地区分开来。有时它们表达的意义存在一定的区别, 也常因着眼的角度和强调的重点不同而不同。通过基因工程技术, 把来自不同生物的外源 DNA 插入到载体分子上, 形成杂种 DNA 分子, 这与神话传说中的那种具有“狮首、羊身、蛇尾”的怪物颇为相似, 故在早期常称这种重组 DNA 分子为嵌合体 (chimaera)。

近年来人们频繁提到的“转基因技术” (transgenic technology), 是指利用分子生物学手段将人工分离和修饰过的基因导入生物体基因组中, 使其生物性状或机能发生部分改变的技术。这一技术也是“基因工程”的一种。经转基因技术修饰的生物体常被称为“转基因生物”, 或者“遗传修饰过的生物体” (genetically modified organism, 简称 GMO)。

二、基因工程的理论基础

基因工程技术是建立在分子生物学和分子遗传学理论发展的基础之上的, 它的发展具有一定的理论基础作为支撑。

第一, 不同的基因具有相同的物质基础。自然界中所有生物的基因都是由一定的核苷酸序列组成, 并且所有生物的 DNA 的基本结构都是一样的。因此, 不同生物的基因或 DNA 片段之间是可以相互重组交换的。

第二, 基因是可切割和转移的。基因可以在 DNA 分子上采用一定的方法将其切割下来, 并且转移到另外一个 DNA 分子之上, 被转移的这个基因仍然保持着初始的结构和功能。因此, 基因工程能够对基因进行操作而不影响基因的功能。

第三,多肽与基因之间存在着对应关系,并且有着相同的遗传密码。一般情况下,一个多肽由一个相对应的基因编码,基因中三个碱基对应一个氨基酸,除极少数氨基酸外,这种对应关系在生物界是通用的,因此重组 DNA 分子不论是导入哪种生物细胞中,都能得到一样的氨基酸序列。

第四,基因的遗传信息是可以遗传的。基因工程技术得到的转基因生物能够保持该基因的功能,并能稳定地传递给下一代。

第二节 食品基因工程的研究内容

与宏观的工程操作一样,基因工程的操作需要经过“切”“接”“贴”和“检查修复”等过程,只是各种操作的“工具”不同,被操作的对象是肉眼难以直接观察的核酸分子。食品基因工程的研究内容与其操作过程具有类似的方面,具体如下:

- ① 分离或者合成能够表达食品需宜性状的的目的基因的 DNA 片段。
- ② 在体外,将带有目的基因的 DNA 片段连接到能够自我复制并具有选择标记的载体分子上,形成重组 DNA 分子。
- ③ 将重组 DNA 分子引入到受体细胞(亦称宿主细胞或寄主细胞)。
- ④ 扩增带有重组体的细胞,获得大量细胞繁殖群体。
- ⑤ 从大量的细胞繁殖群体中筛选出具有重组分子的细胞进行克隆。
- ⑥ 将选出的细胞克隆的目的基因进一步研究分析,并设法使之表达、产生出人类所需要的物质,或者实现食品相关功能的改变。
- ⑦ 通过食品基因工程下游技术对基因产物进行提纯、分离与应用,实现对食品进行改良,以提高食品产量和质量,改善风味,生产出更多、更好的食品。

随着生物技术研究的深入,新的方法和手段不断出现,新的理论也不断产生,这些都丰富了食品基因工程的研究内容,也为食品基因工程的发展和应用提供了更好的理论支持和强大的技术保障。

第三节 食品基因工程的发展与应用概况

基因工程是在分子生物学和分子遗传学综合发展的基础上逐步发展起来的,随着近几十年分子生物学、分子遗传学研究的发展和影响,加上生物化学的发展,基因分子生物学取得了前所未有的进步。现代分子生物学领域理论上的发现和技术上的发明对基因工程的诞生起了决定性作用。食品基因工程是基因工程技术在食品产业中的应用,它的历史是基因工程历史的延续。

一、食品基因工程的发展

民以食为天。基因工程从它诞生的那一天起,就没有离开解决人类食物问题的主题。近几十年随着食品产业的发展和影响,加上生物信息学、新材料学等高新技术的发展,食品基因工程取得了前所未有的进步。总结食品基因工程的发展,可以归纳为前期的准备、食品基因工程的诞生、食品基因工程的快速发展三个阶段。

(一) 食品基因工程的前期准备阶段

1856年至1864年,孟德尔(G. Mendel)通过豌豆杂交试验,提出生物体的性状是由遗传因子控制的。

1909年,丹麦生物学家约翰生(W. Johannson)首先提出用“基因”一词来代替孟德尔的遗传因子。

1910年至1915年,美国遗传学家摩尔根(T. H. Morgan)通过果蝇试验,首次将代表某一性状的基因同特定的染色体联系起来,创立了基因学说。

1944年,美国微生物学家埃弗利(O. T. Avery)等通过细菌转化研究,证明DNA是基因载体,明确了基因的分子载体是DNA而不是蛋白质,即遗传的物质基础。

1953年,美国遗传学家华生(J. Watson)和英国生物学家克里克(F. Crick)建立了DNA分子的双螺旋结构模型,解决了基因的自我复制和遗传信息的传递问题,开辟了分子生物学研究的新时代。

1958年克里克确立的中心法则(1970年修改),1961年雅各(F. Jacob)和莫诺德(J. Monod)提出的操纵子学说以及三联密码子,成功地揭示了遗传信息的流向和表达问题,为基因工程的发展奠定了坚实的理论基础。

20世纪60年代末70年代初,限制性核酸内切酶和DNA连接酶等被发现和使用,使人们可以对DNA分子进行体外切割和连接。这项技术是基因工程研究中的一项重大突破,并成为基因工程的核心技术。

20世纪70年代前后,人们通过研究发现,病毒、噬菌体及质粒分子具有分子小、易于操作和有筛选标记等优点,是外源DNA片段的理想载体。至此,基因克隆载体的发现、外源基因对大肠杆菌的转化、质粒DNA的提取技术、琼脂糖凝胶电泳技术、核酸分子杂交技术以及DNA序列结构分析等分子生物学实验方法的进步,也为基因工程的创立和发展奠定了强有力的技术基础。

1972年, Berg等首次用限制性内切酶EcoR I切割病毒SV₄₀ DNA和λ噬菌体DNA,经过连接,组成重组DNA分子,第一次实现了DNA的重组。1973年, Cohen将伤寒沙门氏菌(*Salmonella typhi*)抗链霉素质粒与大肠杆菌抗四环素质粒在体外重组,获得异源的重组质粒DNA,并把重组质粒导入大肠杆菌中,建立了抗四环素和抗链霉素的大肠杆菌克隆体,这一研究标志着基因工程的出现。1980年,人们首次通过显微注射培育出世界上第一只转基因动物——转基因小鼠。1983年,美国和法国的科学家在世界上第一次进行了抗除草剂转基因烟草的田间实验。

不断发展和改进的基因克隆技术、外源基因转化技术、DNA的提取技术、琼脂糖凝胶电泳技术以及杂交技术等,为开展DNA重组技术在食品相关领域中的应用奠定了技术基础。

(二) 食品基因工程的诞生

美国食品与药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)于1994年5月批准首个转基因食物——番茄FLAVR SAVR进入消费市场。FLAVR SAVR番茄的培育者是Calgene公司,它成立于1980年,总部设在美国加利福尼亚州。1993年, Calgene公司利用反义基因技术抑制了番茄中多聚半乳糖醛酸酶基因(PG)的表达,使这种番茄在采收后能保持其较高的硬度和更长贮藏期。FDA相信该转基因番茄与普通育种生长的番茄同样

安全。转基因番茄获准上市,标志着 FDA 首次完成对转基因农产品的评估和放行,也标志着食品基因工程的诞生。

经过几十年的发展,基因工程技术的应用基因工程在农业、医药、食品、环保等领域已显示出巨大的应用价值。

(三) 食品基因工程的迅速发展阶段

20 世纪以来,生物技术以前所未有的速度迅速发展,基因工程技术已走出实验室发展成为一个巨大的产业,不仅科研机构进行研究和开发,很多商业机构也积极参与。基因工程在农业及食品工业等领域获得广泛的应用,取得了巨大的经济效益和社会效益。目前,转基因作物在一些国家,像美国、阿根廷等广泛推广,上市的转基因食品已达几千种。食品基因工程的发展与应用给农业、食品业的发展提供了崭新的空间。

1998 年 4 月全世界批准进行田间试验的转基因植物达 4387 项。美国是转基因技术采用最多的国家,1999 年美国农业部已经批准生产的转基因农作物有七大类 35 种,其中晚熟番茄 5 种、耐除莠剂的大豆 2 种、增加月桂酸脂的油菜籽 1 种、抗虫马铃薯 2 种、抗虫和抗除莠剂的玉米 6 种、抗病番木瓜 2 种。仅仅这两种转基因番木瓜,就挽救了美国夏威夷番木瓜产业。2015 年全球转基因作物种植面积由 1996 年的 170 万 hm^2 增加到 1.797 亿 hm^2 ,增加了百倍之多,其中美国、加拿大、阿根廷、中国四个国家转基因作物的种植面积占全球转基因作物种植面积的 99.9%。全世界转基因作物按种植面积排序分别为大豆、玉米、棉花、油菜籽。1996—2000 年的 5 年间抗除草剂作物种植面积一直占首位,其次是抗虫作物。

我国的农业基因工程研究于 20 世纪 80 年代初期开始启动,并于 20 世纪 80 年代中期开始将生物技术列入“863”国家高技术研究发展计划。据中国农业生物技术学会统计,截至 1996 年年底,我国正在研究的转基因植物种类达 47 种,涉及各类基因 103 个。目前我国有多种转基因植物被批准进行商品化生产,如转基因耐贮藏的番茄、转查尔酮合成酶基因矮牵牛、抗病毒甜椒、抗病毒番茄、抗虫棉花和保龄棉等。

我国转基因动物研究的发展虽不如转基因植物研究那样快,但已取得了长足的进步,目前已获得转生长素激素基因鱼、转生长素基因猪和抗猪瘟病转基因猪等。中科院水生生物研究所是世界上率先进行转基因鱼的研究,成功地将人生长激素基因和鱼生长的激素基因导入鲤鱼,育成当代转基因鱼,其生长速度比对照快并从子代测得生长激素基因的表达。中国农业大学生物学院瘦肉型猪基因工程育种取得初步成果,获得第二、三、四代转基因猪 215 头。另外,我国已生产出生产速度快、节约饲料的转基因鱼上万尾,为转基因鱼的实用化打下基础。

据国际农业生物技术应用机构(International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA)统计和预测,在全球范围内,1998 年转基因作物的销售额为 12.15 亿美元,2000 年达到 30 亿美元,2005 年达到 80 亿美元,2010 年将达到 280 亿美元。有专家预计,21 世纪初,很可能美国的每一种食品中都含有一定量基因工程的成分,美国基因工程农产品和食品的市场规模在 2019 年将达到 750 亿美元。

二、基因工程食品的类型

随着基因工程在食品中的应用,各种类型转基因食品应运而生。全世界已经有近

50 个国家开展了转基因植物田间实验, 涉及 60 多种植物。转基因植物的性状中最初只关注农艺性状, 如抗病虫、抗除草剂等, 被称为第一代转基因作物, 之后逐渐进行消费者关注性状的改良, 如提高蛋白质含量、维生素 A 含量、油脂品质等, 这些被称为第二代转基因作物。据统计, 在美国转基因食品高达 5000 多种, 已成为人们日常生活的普通商品。

按照来源分类, 转基因食品分为动物来源、植物来源和微生物来源的转基因食品。按转基因的功能, 可以将转基因食品分为以下类型:

(1) 增加产量型 农作物的增产与其生长分化、肥料利用、抗逆、抗病、抗虫等因素密切相关, 通过转移或修饰相关的基因达到增产效果。

(2) 成熟调控型 通过转移或修饰与成熟衰老相关的调控基因, 可以使转基因生物成熟衰老延迟或提前, 以适应市场需求。最典型的例子是改良果蔬的贮藏特性, 提高果实硬度、延缓成熟衰老速度, 提高贮运能力, 减少腐烂损失。

(3) 营养改良型 许多粮食作物蛋白质缺少人体必需的氨基酸, 或者其脂肪所含的不饱和脂肪酸比例不够合理, 为了改变这种状况, 可以从改造种子调控蛋白质基因入手, 使其表达的酶蛋白质调控相关氨基酸的合成或者脂肪酸的合成。现已培育成功的有转基因玉米、大豆和菜豆等。

(4) 功能保健型 通过转移病原体抗原基因或毒素基因至粮食作物或果蔬中, 人们吃了这些粮食、蔬菜和水果, 相当于在补充营养的同时服用了疫苗, 起到预防疾病的作用。有的转基因食物还可防止动脉粥样硬化和骨质疏松, 如一些防病因子可由转基因牛奶或羊奶得到。

(5) 新品种型 通过不同品种间的基因重组可形成新品种, 由此获得的转基因食品性状可能在品质、口味和色、香方面具有新的特点。

(6) 加工型 由转基因产品或者其衍生物作原料加工制成的食品, 种类多, 花样新。

当然, 随着基因工程的发展, 还会出现新的食品类型, 基因工程将为丰富人们的食品种类、解决人类的食物问题作出应有的贡献。

三、食品基因工程的应用概况

基因工程为食品产业的变革带来了新的机遇。应用基因工程技术对动物、植物、微生物的基因进行改良, 不仅可以为食品工业提供营养丰富的动植物原材料、性能优良的微生物菌种以及高活力而价格适宜的酶制剂, 而且还可以赋予食品多种功能、优化生产工艺和开发新型功能性食品。基因工程在食品中的应用主要有以下几个方面。

(一) 改良食品原料的品质和加工性能

在植物食品原料品质的改良上, 基因工程技术得到了广泛的应用, 并取得了丰硕成果, 主要集中于改良蛋白质、碳水化合物及油脂等食品原料中成分的品质和产量的提高。

1. 改良蛋白质

蛋白质是人类赖以生存的主要营养素之一, 植物是人类的主要蛋白质供应源, 蛋白质原料中有 65% 来自植物。与动物蛋白相比, 植物蛋白的生产成本低, 而且便于运输和贮藏, 然而其营养价值也较低。谷类蛋白质中赖氨酸 (Lys) 和色氨酸 (Trp)、豆类蛋白质

中蛋氨酸 (Met) 和半胱氨酸 (Cys) 等一些人类所必需氨基酸含量较低。通过采用基因导入技术, 可获得高产蛋白质的作物或高产氨基酸的作物。植物体中有一些含量较低, 但氨基酸组成却十分合理的蛋白质, 如果能把编码这些蛋白质的基因分离出来, 并重复导入同种植物中去使其过量表达, 就可以大大提高蛋白质中必需氨基酸的含量, 进而提高蛋白质的营养价值。

Yang 等合成了一个 292bp 的能编码高含量必需氨基酸的 DNA 片断, 将其导入马铃薯细胞中, 该基因在马铃薯细胞中的表达量占蛋白质总量的 0.35%。1990 年有人用 Met 密码子序列取代了拟南芥菜 2S 白蛋白的可复制区域, 所获得的转基因拟南芥菜可生产富含 Met 的 2S 白蛋白。

小麦中有一种富含赖氨酸的蛋白质, 在其编码序列的 270 位到 370 位区间有富含赖氨酸的片断, Singh 在 1993 年成功地克隆了编码该蛋白质的 DNA, 并把该基因确定为小麦蛋白质工程的内源目的基因。

2. 改良油脂

人类日常生活及饮食所需的油脂有 70% 来自植物。高等植物体内脂肪酸的合成由脂肪合成酶 (fat acid synthase, FAS) 的多酶体系控制, 改变 FAS 的组成就可以改变脂肪酸的链长和饱和度, 进而可获得高品质、安全及营养均衡的植物油。目前, 控制脂肪酸链长的几个酶的基因和控制饱和度的一些酶的基因已被成功克隆, 并用于改善脂肪品质的研究。如通过导入硬脂酸 - ACP 脱氢酶的反义基因到转基因油菜种子中, 可使硬脂酸的含量从 2% 增加到 40%; 而将硬脂酸 CoA 脱饱和酶基因导入油菜后, 可使转基因油菜种子中的饱和脂肪酸 (软脂酸、硬脂酸) 的含量有所下降, 而不饱和脂肪酸 (油酸、亚油酸) 的含量则明显增加, 其中油酸的含量可增加 7 倍。

目前, 在美国, 高油酸含量的转基因大豆及高月桂酸含量的转基因油料芥花菜已经成为商品化生产基因工程油料的作物品种。

3. 改良碳水化合物

淀粉是人类最重要的提供能量的营养素, 对于发展中国家人们的生存至关重要。对作物而言, 淀粉含量的增加或减少都有其利用价值。增加淀粉含量, 就可能增加干物质, 使其具有更高的商业价值; 减少淀粉含量, 通过减少淀粉合成的碳流, 可生成其他贮存物质, 如贮存蛋白的积累增加。

利用基因工程技术来调节淀粉合成过程中特定酶的活力或几种酶之间的比例, 从而达到增加淀粉含量或获得性质独特、品质优良的新型淀粉品种。高等植物体内涉及淀粉生物合成的关键酶类主要有三种, 分别为 ADP - 葡萄糖焦磷酸化酶 (ADP Glucose pyrophosphorylase, AGPP)、淀粉合成酶 (Starch synthase, SS) 和淀粉分支酶 (Starch branching enzyme, SBE)。

目前, 通过基因工程的方法调控淀粉生物合成而增加或减少淀粉含量, 已经取得显著的成效, 有多个成功的报道。Stark 等人利用突变的大肠杆菌菌株来源的 AGPP 基因和 CaMV 35S 启动子构建了一个嵌合基因, 并把此基因导入烟草、番茄和马铃薯中去, 结果得到极少表达的转基因植物, 表明 AGPP 基因的组成性表达不利于植物的生长、发育, 它很可能引起植物不同组织之间物质积累关系发生变化。后来改用块茎特异表达的 Patatin 基因启动子来构建嵌合基因, 得到的转基因马铃薯块茎中淀粉的含量比传统的马铃薯提高了 35%。

在减少淀粉含量方面, Mülle 等人利用含有不同启动子和反向连接的 AGPP 大亚基或