



普通高等教育“十二五”规划教材

BIOSAFETY SCIENCE

# 生物安全学导论

谭万忠 彭于发 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

# 生物安全学导论

主 编 谭万忠 彭于发

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

毕朝位 丁 伟 丁晓雯 付卫东

郭文超 李 培 彭于发 齐放军

谭万忠 杨宇衡 余 洋 张国良

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

生物安全问题是世界各国当今面临的重要课题,生物安全学是专门研究生物安全问题的学科。本书讲述当今最受社会关注的转基因生物、入侵生物、食品安全和农药安全这四大重要领域的基本理论及研究技术。全书包含12章,第1章为生物安全概论,重点介绍有关生物安全及其学科的相关基本概念;第2~4章讲述转基因生物安全,分别讨论转基因生物的基本理论、各类转基因生物及转基因食品的安全性;第5~8章讲述外来入侵生物,包括入侵生物学的基本理论、预警与监测、综合防控技术及各类主要入侵生物;第9~11章讲述食品安全,着重讨论食品安全基本理论、影响各类食品质量的因素及食品安全的控制技术;第12章讲述农药与生物安全。每一章后附有复习思考题和主要参考文献。

本书可作为高等学校生物安全专业本科生或研究生的专业课教材,也可作为生物学、农学、环境保护、植物保护等相关专业“生物安全学”选修课教材,还可供从事生物安全研究的学者及从事生物安全管理的专业技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

生物安全学导论 / 谭万忠, 彭开宏主编. —北京: 科学出版社, 2014

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-042409-9

I. ①生… II. ①谭… ②彭… III. 生物工程-安全管理-高等学校-教材 IV. ①Q81

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第259024号

责任编辑: 吴美丽 丛 楠 文 茜 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 霍 兵 / 封面设计: 铭轩堂

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>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年1月第一版 开本: 787×1092 1/16

2015年1月第一次印刷 印张: 14 1/4 插页: 4

字数: 337 000

定价: 39.80元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

转基因生物的安全性、生物入侵危害、食品质量问题及化学农药污染是当今世界上最受关注的生物安全问题,它们不仅涉及广大民众的各种生产活动和日常生活,也涉及社会稳定和国家安全,所以学术界对此进行了大量的研究,并取得重要成果。一些相关的国际组织、各国政府管理部门都十分重视这些生物安全问题,对它们的研究和管理给予了巨大的资助,并发布了一些相关的法律法规和标准条例,对于有效预防和控制入侵生物的危害、有力加强食品质量安全、大幅度降低化学农药残留和污染及转基因生物的安全利用,都发挥了巨大的作用,也催生了生物安全学科的诞生并促进其快速发展。

生物安全是指人类和对人类有益的生物保持正常健康生长和繁殖,它们的生产和生活等活动不受有害生物和非生物因子的干扰和破坏。而生物安全学则是研究影响生物安全的有害生物和非生物因素的专门学科,其主要研究这些有害生物和非生物因素的发生发展规律、危害成灾规律及综合预防控制技术。生物安全学与生物学、农学、林学、医学和环境科学等主要综合学科都具有密切的关系,为它们的分支学科,其理论知识和研究技术多来源于这些综合学科。生物安全学也是一门应用性很强的应用基础学科,其研究成果对于工业、农业、畜牧业、林业和渔业等多行业的生产安全和稳定发展都有巨大的应用价值,对保证生态环境的平衡稳定、社会的和谐安定、人类的生存健康也有着重要作用。

随着现代生物科学的发展和全球经济一体化的进程,近年来人类面临诸多生物安全重大问题,生物安全学就是为了应对和解决这些问题而诞生的一门新兴学科,但因其涉及诸多综合学科和行业领域,迄今还没有一个能综合反映生物安全不同领域的完整学科体系。本书将几个重要的生物安全研究领域组织拼接起来,整合成“生物安全学导论”,首次尝试规范生物安全学的基本内涵和综合学科体系。全书第1章为绪论,主要引出生物安全及生物安全学的一些基本概念。接下来的主体内容分为四个部分,第2~4章论述转基因生物的安全性研究和管理,第5~8章讨论外来入侵生物的发生危害规律与综合防控,第9~11章介绍食品质量与生物安全控制,第12章概述化学农药的生物安全问题及其控制技术。

我们近几年来一直从事研究生和本科生的生物安全及相关学科的教学与专业建设研究工作,特别是在生物安全本科专业课程体系建设方面进行了有益的探索,将生态学、昆虫学、植物病理学和农药学作为生物安全专业的专业基础课,将生物安全学导论作为该本科专业的先导性主干课,将入侵生物学、转基因生物安全学、食品安全学、动植物检疫学和生物安全法作为专业的后续主干课,由此形成了一个我国迄今为止可能是最为完善的生物安全本科专业的课程体系。目前这些课程大多数都有适合的优秀教材,但是其中最为重要的先导性主干课程生物安全学导论却还没有可供使用的教材。因此,本书的编辑出版对于推动我国高等院校生物安全本科专业的建设和人才培养,无疑将具有非常重要的作用。

值得注意的是,生物安全学迄今还处于综合完善的发展阶段,其学科体系尚欠成熟,对此还需要进行大量而系统的研究。随着当今全球经济一体化的进程加快,生物安全各方面

的问题可能会变得更加严峻或重要,对生物安全各领域的研究也更加会受到国际国内各方面的高度重视。伴随着科学技术的进步及各有关研究领域的发展与相互融合,生物安全学的科学内涵将得到充实,其学科体系也将变得更加完善。

担任本书主体部分内容编写工作的多是国内从事相关领域教学和科研的权威专家。其中转基因生物的安全性及评价管理部分由彭于发研究员负责组织和编写;入侵生物及其监测防控、食品安全及其控制两部分由谭万忠教授和张国良研究员负责组织和统稿;丁伟教授负责化学农药安全管理部分的组织和编写。所有编委和撰稿作者都为本书的编写付出了大量时间和辛劳。科学出版社的领导和各位负责编审人员也为书稿的编排和审校等工作付出了大量的心血。本书的出版得到了科学出版社和西南大学的大力支持和联合资助,书稿的编写还得到了国家公益性行业专项“外来入侵昆虫的持续防控技术与推广应用”(2001103026)和“外来入侵植物的综合防控技术与示范推广”(201103027)项目的资助。在此,一并表示衷心的感谢和崇高的敬意!

本书中各部分内容都力求反映生物安全相关领域的国内外研究的新成果和新动态,在每一章末都附有适当的复习思考题和主要参考文献,以指导读者在学习把握重点难点和扩大有关知识范围,更好地掌握生物安全学的理论知识和实践技术。因此,本书可用于高等院校生物安全本科生的专业课教材,也可作为生物学、农学、林学和环境科学类相关专业本科生和研究生“生物安全学”选修课程的教材,还可供从事所有这些学科领域研究和技术推广应用的广大专家、学者、管理工作者和技术人员参考使用。

由于时间仓促,加上能力和水平的局限,尽管在各章节的编写和审校过程中谨慎避免,还是难免出现偏颇和不足,恳请广大读者和同行学者批评指正。如果您发现本书中任何地方存在问题,诚挚希望您通过 email: drwztan@126.com 让我们知晓,以便在本书再版时补充和校正。对此,我们向您表示真诚的谢意。

谭万忠

2014年10月于重庆北碚

# 目 录

## 前言

<b>1 绪论</b> .....	(1)
1.1 生物安全的概念 .....	(1)
1.2 生物安全学及其研究内容 .....	(1)
1.3 生物安全研究的重要性 .....	(2)
1.4 生物安全学与其他学科的关系 .....	(3)
1.5 生物安全学科与专业的发展 .....	(3)
<b>2 转基因生物安全概论</b> .....	(6)
2.1 转基因生物的定义 .....	(6)
2.2 转基因生物类群 .....	(6)
2.3 转基因生物的研究技术 .....	(7)
2.4 转基因生物的应用现状 .....	(8)
2.5 转基因生物潜在的问题 .....	(9)
2.6 转基因生物风险与安全性评价 .....	(13)
2.7 转基因生物的风险控制与安全保障技术 .....	(18)
2.8 转基因生物安全管理体系与释放 .....	(19)
<b>3 转基因生物的主要类群</b> .....	(26)
3.1 转基因植物 .....	(26)
3.2 转基因动物 .....	(32)
3.3 转基因微生物 .....	(34)
<b>4 转基因食品安全性</b> .....	(37)
4.1 转基因食品安全性 .....	(37)
4.2 转基因食品安全评价原则 .....	(38)
4.3 转基因食品安全性评价的主要内容 .....	(39)
4.4 转基因食品非预期效应检验 .....	(44)
<b>5 入侵生物概述</b> .....	(49)
5.1 入侵物种与生物入侵 .....	(49)
5.2 生物入侵的途径和入侵机制 .....	(50)
5.3 入侵生物的危害 .....	(52)
5.4 入侵生物的发生现状 .....	(54)
5.5 有关入侵物种的法规及我国应对生物入侵的策略 .....	(56)
5.6 入侵生物学及其研究内容 .....	(57)
<b>6 入侵物种的风险评估与监测预警</b> .....	(60)

---

6.1	外来入侵生物的风险管理现状 .....	(60)
6.2	外来入侵物种环境风险评估过程 .....	(62)
6.3	对国内已局部发生的外来入侵物种风险评估 .....	(66)
6.4	入侵物种的监测 .....	(67)
<b>7</b>	<b>入侵生物的预防和控制 .....</b>	<b>(71)</b>
7.1	入侵生物的非疫区防控 .....	(71)
7.2	入侵生物的疫区控制 .....	(76)
<b>8</b>	<b>不同外来入侵生物类群及其防控 .....</b>	<b>(87)</b>
8.1	入侵杂草 .....	(87)
8.2	入侵动物 .....	(98)
8.3	入侵微生物及其所致植物病害 .....	(116)
<b>9</b>	<b>食品与生物安全概述 .....</b>	<b>(133)</b>
9.1	食品安全的基本概念 .....	(133)
9.2	食品安全标准 .....	(136)
9.3	国际国内食品安全的现状 .....	(136)
9.4	我国防控食品安全事件的措施 .....	(143)
<b>10</b>	<b>影响食品质量安全的主要因素 .....</b>	<b>(145)</b>
10.1	有害生物因子 .....	(145)
10.2	化学污染因子 .....	(165)
10.3	物理污染因子 .....	(184)
<b>11</b>	<b>食品质量与安全控制 .....</b>	<b>(186)</b>
11.1	食品安全监督管理体系 .....	(186)
11.2	食品安全的法律法规体系 .....	(188)
11.3	食品安全标准体系 .....	(193)
11.4	食品质量安全认证体系 .....	(196)
11.5	食品有害生物的控制技术 .....	(199)
11.6	食品化学污染的监测与控制措施 .....	(201)
<b>12</b>	<b>农药与生物安全 .....</b>	<b>(205)</b>
12.1	农药的产生与发展 .....	(205)
12.2	农药对生物安全的保护作用 .....	(207)
12.3	农药对其他方面的安全保护作用 .....	(208)
12.4	农药对生物安全的危害 .....	(209)
12.5	转基因植物与农药的使用 .....	(214)
12.6	农药的安全控制 .....	(215)

彩图

# 1 绪 论

转基因生物、生物入侵、生态环境及农药应用等涉及生物安全的领域一直以来都为人们所重视,也是当今及将来引人关注的重要话题。专门研究生物安全的生物安全学却是近年来才诞生的一门新兴学科,其学科内容和体系还需要进一步完善。

## 1.1 生物安全的概念

现代分子生物技术发展和应用创生了不同功能的“转基因生物”,其中有些转基因动植物和微生物在农业及医学等领域得到了广泛的推广应用,给生产带来巨大的经济效益,对改善人类生活起到了显著的作用。但是,人们对转基因生物还缺乏足够的认识,对它们的安全性还有较大担心,因此迄今国内外不少学者认为“生物安全”就是指“转基因生物对生态环境、生物多样性和人类健康的不利影响”。查阅百度网和谷歌网所能看到的有关生物安全概念基本上都与此类似,这是非常片面的,因为事实上有多方面的因子影响生物安全,而不只是转基因生物。对人类来说,生物安全不仅指我们自身的安全,还应包括对人类有益的所有生物的安全。

因此,生物安全是指人类及有益生物的安全,其英文名为 biological safety 或 biological security,分别缩写为 biosafety 或 biosecurity。所说的安全,对人类而言,就是人类的健康、生活、生存及生产等活动能保持正常,不至于受不良因素的干扰、破坏或威胁;对于有益生物而言,则是它们能够正常生长繁殖和发挥应有的功能,从而保持环境中的生物多样性和生态环境的稳定。相反,如果人类及有益生物的活动和生存受到干扰和破坏,就是失去安全了。

这里的有益生物是指对人类和生态环境有益的各种生物,主要包括人们种植的各类农作物、养殖的各类动物、培养的有益微生物、自然和人造森林植物及生态环境中的有益生物等,而不包括对人类及其生产活动有害的生物,如各种害虫、病原物和杂草等。

影响人类及有益生物安全的因子是多方面的,不只是转基因生物的“安全问题”,还包括外来入侵生物、影响食品质量安全的各类生物及非生物因子等。实际上,转基因生物产品是较安全的,但社会上对它们迄今还比较担心,其中有些关于转基因食品方面的问题是某些人推测或臆想出来的,并未得到实践证实。相反,很多外来入侵物种、农药残留和各种食品污染因子才是实实在在给人类造成巨大危害和损失的生物安全破坏因子。

## 1.2 生物安全学及其研究内容

在此之前,国内外学者普遍将“生物安全”定义为“转基因生物”的安全,所以对生物安全学的概念及其研究内涵也仅局限于该概念所定义的科学领域,即生物安全学是研究生物工程生物安全及风险管理的科学。因此,已有的生物安全学概念只能被认为是“转基因生



物安全学”。

生物安全涉及人类及所有有益生物的安全,转基因生物的安全性只是人们关注的安全领域中的一方面,而生物入侵问题、食品安全问题、农药与环境安全问题等都是人类所关注的重要生物安全领域,生物安全学的研究也应当反映或包含这些领域。由此给出如下定义:生物安全学是研究生物安全影响因素及其成灾规律和综合管理的科学。其英文名称为 biosafety science 或 biosecurity science,国外学者及文献中一般采用前者。

如前所述,影响生物安全的因子是多方面的,除了“转基因生物释放”的安全管理外,还包括外来入侵生物、影响食品安全的各类生物和非生物因子等。因此,生物安全学的内涵就是研究影响生物安全的主要因子的发生规律及其控制技术。其主要内容包括:①转基因生物释放的潜在风险及其管理;②入侵生物的发生发展和成灾规律与综合治理;③食品安全影响因子的发生和危害及食品质量控制;④农药与环境安全及合理使用技术。这些内容将在本书中分别加以论述。

广义的生物安全破坏因子还包括各种自然灾害(地震、海啸、龙卷风、冰雹、火灾等)和人为灾害(战争、恐怖活动、犯罪、环境破坏等),但这些方面的内容一般不在生物安全学中讨论,本书亦将不涉及这些内容。

### 1.3 生物安全研究的重要性

人们对转基因生物及食品存在很大的担心,这是生物技术和转基因工程发展的极大障碍。开展转基因生物安全性研究与评估,是消除消费者担心的最佳途径。自转基因生物问世以来,人们对转基因生物的安全性提出几方面疑问:转基因生物释放到环境中是否会对环境造成危害?转基因生物,特别是抗虫植物食品是否会对人体产生慢性毒性?是否能致癌或降低生育力?转基因生物培育过程中所使用的 35S 启动子等基因是否会干扰食用者的遗传基因?这些问题现在还没有得到准确的答案,需要通过转基因生物安全方面的研究才能得到最终的答案。

另外,生物入侵也是当今世界各国关注的重要问题。入侵生物给生物安全带来了巨大的威胁,每年都造成严重的经济损失,并使得较大范围的生态环境和环境中的生物多样性遭到破坏。生物安全学研究生物入侵的机制,以及入侵物种的生物学、生态学特性和危害成灾规律,由此建立入侵物种的监测预警和综合防控技术,这些技术的应用可有效地预防生物入侵,在入侵生物已发生的疫区避免或降低损失。

食品安全也是人们非常重视的问题。尤其是近年来在国际国内发生了一些影响很大的食品质量安全事件,使得消费者对食品质量安全问题感到担心甚至恐惧。生物安全学研究影响食品质量的各类因子,进行食品质量控制立法,实施安全管理,就能保证食品质量,避免或大幅度减少食品污染事件的发生。

农药的不恰当应用,有可能导致农产品农药残留超标,引起土壤、水和大气污染,使人类和许多有益生物的生存环境遭到严重的干扰和破坏。生物安全学监测农药污染动态,立法规范农药的安全使用,研究建立农药安全使用技术,从而可显著地降低化学农药的残留及其对环境的污染,为生物的繁衍和生存提供安全的生态环境及舒适的家园。

由此可见,开展生物安全学各领域的研究,对于避免或降低有害因子的危害及其可能造成的经济损失,从而保证人类、有益生物和生态环境安全具有重要意义。

## 1.4 生物安全学与其他学科的关系

生物安全学是一门应用基础学科,其理论性和应用性都很强。首先,它是生物学科的一个分支学科。在生物学科中包含有动物学、植物学、微生物学、真菌学、细菌学、病毒学,以及这些学科所涉及生物的生态学、分类学、生理学、生物化学、遗传学、分子生物学和生物技术等。生物安全学与这些学科都有着密切的联系,所有这些学科都是生物安全学的基础学科,因为生物安全中所涉及的各类动植物和微生物,以及该学科的基本理论和研究技术都来自于生物学科的各分支学科。

其次,生物安全学的各个研究领域又与农学、林学、环境科学和医学等学科有密切的联系,如入侵生物威胁人类健康、动植物生产和生态环境,所以入侵生物学又分别构成医学、农学、林学和环境科学的分支学科。人们根据其危害的行业将入侵生物分为农业入侵生物、林业入侵生物、医学入侵生物和环境入侵生物等。各行业学科中相关领域的理论和研究技术也是构成生物安全学的基础,生物安全学的理论和研究成果又被应用于各行业领域。生物安全学与这些行业学科中的昆虫学、病理学、病原学、动植物检疫学和有害生物防治学等关系非常密切,生物安全学的很多重要知识内容均来源于这些学科。

最后,生物安全的转基因生物、入侵生物、食品和农药等诸多领域都涉及法律法规管理和控制,所以生物安全学与法律科学也有着密不可分的关系。国际国内都制定了一系列生物安全管理的相关法律、法规、标准和指南,如国际植物保护条例、各国的动植物检疫法规、欧洲转基因生物安全法等,这些法律法规均由各个国家指定的专门执法机构加以实施。

## 1.5 生物安全学科与专业的发展

许多成熟的自然科学都经历了不同的、具有明显标志的发展阶段。生物安全学是近年来才诞生的一门新兴学科,其创立不过十多年,还是一个不够成熟的学科,其学科体系还不够完善。这十多年可以被认为是生物安全学的创立和奠基阶段,在此阶段国内外已出版少量相关的教材、专著或学术期刊,但它们大体上都局限于生物安全的某个单一领域,主要有转基因生物安全、环境生物安全、食品安全、入侵生物安全、农药安全、医学实验室生物安全等。美国、加拿大等发达国家已经创办了 *Biosafety*、*Journal of Biosafety*、*Journal of Biosafety and Health Education* 和 *Applied Biosafety* 等期刊;国内也创办了《生物安全学报》和《食品安全质量检测学报》,并在其中一些重要领域先后出版了专著或教材,如化学工业出版社 2005 年出版了付保荣与惠秀娟主编的《生态环境安全与管理》;科学出版社在 2004~2012 年出版了万方浩等主编的我国“生物入侵”的系列专著和张国良等主编的《农业重大外来入侵生物应急防控技术指南》;北京大学出版社 2010 年出版了王明远编写的《转基因生物安全法研究》;中国农业出版社于 2011 年出版了张伟主编的《生物安全学》教材,该教材的讲授内容主要是“转基因生物”安全性;化学工业出版社于 2005 年出版了钟耀广编写的《食品安全

学》教材；中国农业大学出版社于2011年出版了丁晓雯和柳春江编写的《食品安全学》教材；科学出版社于2010年出版了马莺和崔杰主编的《粮食质量安全学》。这些单一领域的研究为生物安全学学科的建立奠定了良好的基础。

在生物安全学的奠基时期，虽然生物安全学的学科体系尚未完全成熟，我国部分高等院校早在十多年前就开始招收生物安全专业的硕士和博士研究生，有些高校还开设了生物安全本科专业并招收了本科生，这是为了适应国家有关行业、部门或领域的需求，而培养生物安全学科领域的专门人才。但是，从有关院校的教学大纲和培养目标来看，主要培养内容基本上限于转基因生物安全领域。对于研究生培养，则以不同行业学科来确定生物安全专业的培养方向，因为研究生一般是以做学位论文为主，他们不可能在研究生阶段同时开展不同领域的项目研究。例如，在西南大学农学部，生物安全专业硕士和博士研究生的主要培养方向就是入侵生物安全；中国农业科学院研究生院，有转基因生物安全和入侵生物安全两个生物安全专业方向。然而，对于生物安全本科专业而言，学生有两年或更多时间来学习专业课程，以全面地掌握生物安全的理论知识、研究技术及生产管理实践操作技能，所以生物安全本科生的学习不能仅限于个别领域。但从查阅一些院校生物安全本科专业的培养计划和课程大纲了解到，农业院校的生物安全本科专业主干课程主要限于转基因生物安全领域的内容，而医学院校及一些综合高校的生物安全本科专业的主干课程则分别为“实验室生物安全学”或“环境安全学”，显得相当单调。

可以认为，经过了创立和奠基阶段，生物安全学的发展现已进入理论体系综合阶段。如果生物安全学仅涵盖其中某一个或两个领域，那它无疑是不全面的或局限性的，只有将生物安全各研究领域的内容综合起来，才能构成完整的生物安全学学科体系和内涵。但是，各个生物安全领域涉及的理论知识、研究技术、研究对象都存在着相当大的差异，要将它们有机地组合到一个学科体系中是相当困难的，但这种组合又是必需的。2009年，中国科学技术协会在重庆举办了“转基因植物与食品安全”专题专家论坛，与会专家围绕转基因食品与生物安全问题对转基因生物、外来入侵生物、农药安全应用和环境安全等领域进行了充分的讨论，中国科学技术出版社在2011年出版了该论坛的报告。自此，我们会同国内一些专家就生物安全综合体系进行了研讨，并编写了这本《生物安全学导论》，作为生物安全本科专业的通论性和奠基性课程教材。在此基础上，我们还设计了生物安全本科专业的其他主干课程，包括入侵生物学、转基因生物安全学、食品安全学、动植物检疫学、昆虫学、植物病理学、农药安全学和生物安全法等，基本涵盖了生物安全学科的主要领域，形成了一个迄今为止可能是我国最为完善的生物安全本科专业的课程体系。

综上所述，生物安全学还处于综合完善的发展阶段，其学科体系尚不太成熟，对此还需要进行系统的研究。但是可以预期，我国高等院校生物安全专业的设立和人才培养，将会为该学科的进一步发展和走向成熟发挥积极的作用。随着当今全球经济一体化进程的加快，生物安全各方面的问题可能会变得更加严峻或重要，对生物安全各领域的研究也会受到国际国内各方面的高度重视，这些研究将使得生物安全各领域的学科内容得到充实和发展。进而，伴随着科学技术的进步及各有关研究领域的发展和相互融合，一门内容充实完善、学科体系健全合理的生物安全学最终将展现在人们的面前。

### 复习思考题

1. 什么叫“生物安全”？你如何理解生物安全概念？
2. 何谓生物安全学？其基本研究内容是什么？
3. 影响生物安全的因子主要有哪几方面？
4. 生物安全研究有何重要性？
5. 查阅有关生物安全学的网络资源信息，了解生物安全学学科的历史、现状和未来发展。

### 主要参考文献

- 边永民. 2007. 欧盟转基因生物安全法评析. 河北法学, 25(5): 257-263
- 丁晓雯, 柳春红. 2011. 食品安全学. 北京: 中国农业大学出版社
- 付保荣, 惠秀娟. 2005. 生态环境安全与管理. 北京: 化学工业出版社
- 马莺, 崔杰. 2010. 粮食质量安全学. 北京: 科学出版社
- 王明远. 2010. 转基因生物安全法研究. 北京: 北京大学出版社
- 张国良, 曹坳程, 付卫东. 2010. 农业重大外来入侵生物应急防控技术指南. 北京: 科学出版社
- 张伟. 2011. 生物安全学. 北京: 中国农业出版社
- 中国科协学会学术部. 2011. 转基因植物与食品安全. 北京: 中国科学技术出版社
- 钟耀广. 2005. 食品安全学. 北京: 化学工业出版社
- Brandenber O, Dhiam Z, Sensi A, et al. 2011. Kakoli Ghosh Introduction to Molecular Biology and Genetic Engineering. Food and Agriculture Organization (FAO) of United Nations
- Yuan ZM, Chen ZS. 2011. Collection of laws, regulations and standards of the People's Republic of China on biosafety. Beijing: Science Press

## 2 转基因生物安全概论

### 2.1 转基因生物的定义

基因(gene)是遗传的物质基础,是携带有遗传信息的核苷酸序列,是控制生物性状的基本遗传单位,通过指导蛋白质的合成来表达自己所携带的遗传信息,从而控制生物个体的性状表现。

转基因生物(genetically modified organism, GMO)是指遗传物质和结构经过转基因技术改造的生物。转基因生物包括转基因微生物、转基因植物、转基因动物等。各类转基因生物最初被广泛应用于科学研究,是科学家了解和揭示各类生物遗传特性和基因功能不可或缺的现代生物技术手段。

随着转基因技术的发展,利用转基因技术定向改造生物的遗传特性,已发展成为现代生物科学技术的核心研究内容之一。特别是人们可将有利于生物自身或满足人类需求的特定外源基因整合进入受体生物基因组中,并使这些外源基因在受体生物中稳定表达,发挥其功能,从而使受体生物获得目的基因表现出来的性状,这些性状就是转基因生物的目的性状。转基因生物遗传性状有针对性地改变,使得人们定向改造生物的遗传特性成为可能,从1973年转基因技术诞生至今,只是短短40年的时间,人们已培育出环境适应性强、产量高、品质性状优良各类转基因生物,用以满足人们不同的需求。这也促使了转基因生物从单纯的科学研究逐步走向科学的应用,并呈现出广阔的发展前景。

转基因生物不同于传统遗传杂交实验培育的动植物,也不同于通过离体无性繁殖、多倍体、突变体诱导或细胞融合培育的生物,而是科学发展的新成果。转基因技术突破了物种间遗传物质交流的障碍,也使得人们能够从遗传层面对生物体进行新的设计和创造。自转基因技术诞生之日起,人们在憧憬这一生物技术的重大突破为人类带来各种成果和惊喜的同时,也在思虑转基因技术是否可能存在潜在风险、带来严重的安全性问题。如何才能建立有效的监控和管理体制来防范这些风险的发生,保障转基因生物的安全,是转基因技术需解决的一个重要问题。

转基因技术发展至今已有40年,转基因生物实际应用至今也已30年。人们在发展利用转基因技术、培育各类转基因生物的同时,也一直在监控和评估转基因生物的安全性,防范转基因生物可能的风险;也可以这样说,转基因生物安全性问题和转基因技术发展是连体同胞,密不可分。

### 2.2 转基因生物类群

从生物类别来分,转基因生物可分成转基因微生物、转基因植物、转基因动物三大类(图2-1)。它们在研究水平、应用范围、功能和作用及生物安全性等方面都存在一定的差异。



图 2-1 各类转基因生物的培育

### 2.3 转基因生物的研究技术

转基因生物技术主要指遗传工程技术(genetic engineering technique),也称为遗传操作技术(genetic manipulation technique)。遗传工程技术主要通过基因操作在基因结构上对DNA进行重组,对生物的遗传性状进行改变。主要的技术手段是将分离或优化改良后,具有特定性状和功能的基因构建到适合的载体中,通过直接和间接的转化技术将重组的目的基因转化进入受体生物,并使这些外源目的基因在受体生物中稳定表达,发挥其功能,从而使受体生物获得新的遗传性状,或性状得到定向性改良。随着转基因技术的发展,缺失和修饰生物固有基因也发展成为新的遗传操作技术。

针对不同目的和不同生物类别,转基因技术在是否使用载体、载体的选择、转化方法的选择,以及目的基因在受体生物中的存在方式均存在不同。转基因技术包括下述主要环节:①分离和改造优化基因,在确定目的基因的基础上,可通过酶切、PCR等方法分离和优化基因,甚至人工合成所需的基因。②依照受体生物的遗传特性,将目的基因重组到适宜的遗传元件上,如启动子、终止子、选择标记等,从而将目的基因构建成为在受体生物中可完好表达生物功能的遗传单元。这些操作多依赖载体进行,并采用酶切、连接、分子克隆等DNA遗传操作技术,即基因重组技术。③将构建好的目的基因通过一定的转化途径转入受体生物细胞中,并选择出成功表达目的基因的转基因生物。

不同生物间的基因转化技术差别很大,在此作一简单介绍:细菌在自然条件或诱导条件下可吸入外来的DNA,发生转化事件。如在热或电胁迫条件下,细菌质膜的通透性发生变化,外来的DNA有可能通过一定的方式整合进入细菌的基因组,或以染色体外DNA的形式存在,并发挥其功能。也正是因为细菌具有这样的特性,涉及细菌的转化技术一般是将目的基因构建到适宜的载体上,然后通过热或电胁迫诱导的方式进行转化。

植物、真菌转化多依赖根癌土壤杆菌的T质粒,它是一个天然的基因输送质粒,能够将

其 T-DNA (transfer DNA) 片段整合进入植物、真菌的基因组。为此可将目的基因构建在改造后的 T 质粒上,通过根瘤土壤杆菌介导转化植物和真菌。对于根瘤土壤杆菌难以介导转化的单子叶植物,则可将构建好的质粒吸附在细小的金或钨颗粒中,用基因枪将这些吸附重组 DNA 的颗粒直接轰入植物细胞,促使转化的发生。电激转化也是植物、真菌常用的转化方式之一。

显微注射、脂质体及病毒载体感染、转座子介导等方法多用于动物细胞的转化。

除病毒载体介导的系统感染外,上述通过各类方式转化的外源目的基因多以随机整合的方式插入宿主染色体中。新发展的同源重组技术能够通过同源重组交换的方式将外源 DNA 定点整合到宿主染色体中。该技术还能够定点敲除宿主特定基因,引起宿主特定基因功能的缺失。

## 2.4 转基因生物的应用现状

转基因生物应用领域广泛,目前除了广泛用于生物和医学的研究外,还应用于药物的生产、疾病的直接治疗(基因治疗)、农林生产(如抗虫、抗除草剂植物)、工业和环境保护领域等。

转基因微生物是首先研制成功的转基因生物,也是最早得到应用的转基因生物。1978年,加利福尼亚大学的 Herbert Boyer 成功地用大肠杆菌生产出转基因人胰岛素;4年后,美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准了转基因胰岛素的生产和应用。迄今转基因细菌已被广泛应用于药物生产,产值巨大。如转基因胰岛素用于糖尿病的治疗、转基因凝血因子用于血友病的治疗、转基因人生长激素用于侏儒症治疗等。先前这些药物均需从血液中分离提取,费用高昂,还存在着传染病原污染的隐患和风险。这些转基因药物的成功研发和广泛使用,不仅费用低廉,还完全排除了传染病原污染的风险,使用更为安全。除此之外,转基因微生物还应用于疫苗生产、食品工业用酶制剂(淀粉酶、凝乳酶、果胶酶)生产、燃料生产、环境有机污染物降解、环境重金属富集、矿物的浸提、饮用水砷化物的检测等。

转基因作物发展迅速,应用广泛,成为现代农业发展的重要支柱之一。通过转基因技术,可以赋予转基因作物很多有利的性状,如抗虫、抗病、抗逆、耐除草剂、货架期延长、营养改良等,转基因植物还可以作为生物反应器生产燃料和药物,或作为生物修复材料吸附污染物等。据国际农业生物技术应用服务组织(International Service for Acquisition of Agrobiotech Applications, ISAAA)的报告,2011年全球约有1670万农户种植了1.6亿 $\text{hm}^2$ 转基因作物,超过了全球可耕地的10%。转基因作物年产值超过1600亿美元,种子的年销售额达到132亿美元。

转基因动物大多用于研究基因引起的表型变化、药物实验、在乳汁中分泌有营养的蛋白质成分、在猪的组织中表达人的抗原以实现异种移植的目的。转基因鱼除了应用于研究外,还有望显著提高水产品的产量。目前,在强启动子启动下超表达生长激素的鱼已研制成功,这些转基因的马哈鱼、鲤鱼、罗非鱼生长很快,个体也很大。然而这些转基因鱼迄今依然未得到转基因生产许可。

## 2.5 转基因生物潜在的问题

转基因技术突破了生物间天然的生殖障碍,从而使得基因可以在不同生物体间转移,产生显著不同于传统有性杂交方法所生产的作物。新组合基因在不同的遗传背景下表达产生新的蛋白质类型,赋予转基因生物新的性状。这样的改变可能会对转基因生物本身、其所生产的食品及环境产生不利的影响,存在潜在的安全性问题。也正因为如此,需在转基因生物使用前对其可能存在的安全性问题进行细致科学的评价,并有效地管理和防范转基因生物的安全性风险,而不是一味地反对和排斥,甚至采取街头诉求的游行活动(图 2-2)。



图 2-2 美国华盛顿特区发生的反转基因小规模示威游行

### 2.5.1 转基因食品的食用安全性

#### 2.5.1.1 新蛋白质和新产物的食用安全性

转基因生物产生新蛋白质或新产物,研究和评价这些新组分的食用安全性是转基因生物安全性评价的重要内容之一。

新蛋白质的毒性是食品安全的一个重要方面,如果外源基因表达蛋白质是没有安全食用历史的蛋白质或类似物时,需要进行动物毒性实验,对新蛋白质的急性毒性和慢性毒性进行研究。转基因植物中可能由于新基因的转入产生新的非蛋白质物质,同样,这些没有安全食用史的非蛋白质物质的安全性同样需要经过科学实验来评价。

如杀虫的苏云金芽孢杆菌编码的 Bt 蛋白本身就是毒蛋白,为了确认该蛋白质是否会对哺乳动物及人类表现出毒性作用,在 Bt 转基因作物投放市场前进行了一些安全性评价。美国孟山都公司的 Bt 棉表达的 Bt 毒蛋白可被哺乳动物很快地消化,与非转基因棉相比,其棉籽和棉籽油的质量及抗营养成分没有显著的改变。分别用含有 5%、10% 和 20% 棉籽的饲料喂养大鼠、鹌鹑和鲇鱼 4 周和 10 周,结果,没发现有任何显著的变化。Noteborn 和 Kuipe 等



对转苏云金芽孢杆菌基因 *CryIA* 的番茄进行了大鼠、小鼠的离体和活体实验,在这两种条件下受试动物并未出现任何病理反应,生长发育完全正常。急性毒性实验也未发现受试动物有任何病理性改变。

美国孟山都公司有关人员利用大鼠和奶牛 30 天喂养实验、肉鸡 45 天喂养实验、斑马鱼 75 天喂养实验及小鼠急性毒性实验,对转耐草甘膦除草剂基因的大豆食品安全性进行评价。上述所有研究均表明转基因大豆与普通大豆一样,对上述动物无任何毒害作用,检测的所有指标与对照相比无明显差异。

我国的研究者对转基因延熟番茄进行了 30 天喂养实验,检测在实验剂量下是否对动物产生毒性作用,实验中采用断乳 Wistar 大鼠,以 10 000mg/kg、5000mg/kg、2500mg/kg 剂量的延熟番茄对大鼠灌胃处理 30 天,对照组喂养正常饲料。观察指标包括临床检查:动物的一般表现、体重、中毒症状及死亡情况,血常规\血生化(ALT、AST、尿素氮、肌酐、血糖、胆固醇、总蛋白质、白蛋白、白蛋白/球蛋白),脏器系数(对各剂量组动物肝、脾、肾称重,计算脏器系数),病理解剖(大体观察及病理组织学检查肝、脾、肾、胃及十二指肠)。在实验期间,三个剂量组实验动物生长发育良好,体重、脏器系数等指标与对照组比较,无显著差异;血常规\血生化指标均在正常值范围内;病理组织学检查未见异常。最终认为在上述实验剂量和条件下,转基因延熟番茄对大鼠各项观察指标未产生明显毒性作用。

陈松等用棉籽粉喂养大鼠 28 天、喂养鹌鹑 8 天的动物实验表明,各转基因棉籽粉喂养的动物在体重、食物利用率与对照相比,无显著差异,受试动物生长发育及行为正常、无死亡。对大鼠的肝、肾、胃、盲肠、结肠、小肠及睾丸进行组织切片检查,均未见病理性改变,大鼠肝、肾、睾丸的质量比,以及血液中谷丙转氨酶活性和尿素氮水平均在正常范围内,转基因与对照组相比无明显变化,由此他们认为转 *Bt* 基因抗虫棉棉籽粉经脱棉酚处理后,对动物无毒害作用,因而与常规棉籽粉一样,可作为畜禽饲料资源。

### 2.5.1.2 转基因食品可能的致敏性

引起食物过敏的主要食品包括花生、大豆、牛奶、鸡蛋、鱼类、贝类、小麦和坚果等,90% 以上的过敏反应是由这八大类常见致敏食品引起的,而几乎所有的食物致敏原都是蛋白质。转基因技术应用于动植物中,在提高植物产量、改善植物品质、增强植物抗病虫害能力的同时,也可能产生一些预期之外的新的蛋白质。这些蛋白质产物有可能导致人体产生过敏反应,甚至是中毒。

转基因技术引起转基因食品产生致敏蛋白质的方式有以下几种:①转入基因本身编码已知的致敏蛋白质;②转入基因是编码已知致敏蛋白质基因的一部分;③转入基因编码蛋白质同已知致敏蛋白质存在序列上的同源性,并会产生类似的免疫反应;④转入基因表达的蛋白质属于一个含有致敏蛋白质的蛋白质家族;⑤转入基因及其表达引起受体生物基因表达的改变,如沉默基因的激活等,导致新的致敏蛋白质的产生。

但是对于上述情况,传统的评价方法不适合用来评价转基因食品的安全性,特别是对于致敏性的评价更是如此,因此,包括转基因食品在内的食用植物的致敏性评估需要一套有针对性的方案。1988 年,国际食品生物技术委员会(International Food Biotechnology Council, IFBC)开始建立包括致敏性在内的转基因食品安全性的评估标准和评估程序;1996 年,IFBC