

全国高等学校教材

# 生物安全

# Biological Safety

余丽芸 王桂华 王景伟 主编

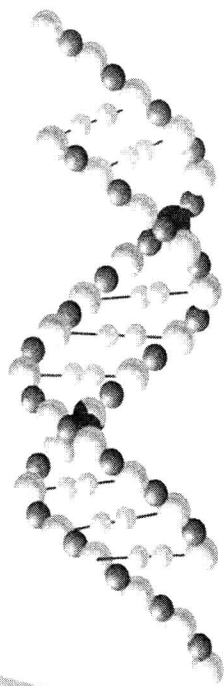


 中国农业出版社

全国高等学校教材

# 生物安全

余丽芸 王桂华 王景伟 主编



中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

生物安全 / 余丽芸, 王桂华, 王景伟主编. —北京  
: 中国农业出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 109 - 16991 - 3

I. ①生… II. ①余…②王…③王… III. ①生物技术-安全管理 IV. ①Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 164400 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 黄向阳 耿韶磊

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 29.25

字数: 526 千字

定价: 45.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

## 内 容 简 介

本书是供全国高等学校生物类相关专业使用的教材。本书重点阐述各种转基因生物及其产品的发展现状、对环境和人体健康的潜在风险、风险评估的方法与内容、安全性评价与管理,以及公众对转基因生物及其产品的正确态度即公众意识等内容。坚持通用性和教学实用性相结合,在重点阐述基本理论、原理和方法的同时,尽可能反映生物安全领域的一些新动向和新进展。全书共分十二章。第一章为绪论,介绍了现代生物技术及生物安全的基本情况;第二章介绍生物安全性评价、控制措施和实施原则;第三章介绍了转基因生物遗传稳定性的检验方法;第四章至第九章对转基因植物、微生物、动物、生物制品、转基因食品和水生生物进行了详细的论述,内容各具特色;第十章对实验室生物安全进行介绍;第十一章介绍了大规模生产的生物安全;第十二章是生物安全的公众教育与公众参与。

本书可作为高等院校生物学、生物技术、生物工程等相关专业本科生和研究生学习生物安全课程的教材,也可作为相关管理人员的培训教材和科研人员的参考用书。

主 编 余丽芸 王桂华 王景伟

副主编 赵天宏 陈松波

主 审 侯喜林

编写人员 (以姓名汉语拼音排序)

曹 宁 (黑龙江八一农垦大学)

陈松波 (东北农业大学)

高亚梅 (黑龙江八一农垦大学)

荆瑞勇 (黑龙江八一农垦大学)

刘 哲 (黑龙江八一农垦大学)

王景伟 (黑龙江八一农垦大学)

王桂华 (黑龙江八一农垦大学)

王艳红 (黑龙江八一农垦大学)

唐彦君 (黑龙江八一农垦大学)

肖翠红 (黑龙江八一农垦大学)

余丽芸 (黑龙江八一农垦大学)

赵天宏 (沈阳农业大学)

# 前 言

进入 21 世纪，生物技术在全球范围内迅速发展，相关产业规模不断扩大，这对解决人类所面临的食物、人口、资源、能源、环境等危机具有重要的作用，尤其是基因工程技术的兴起和迅速发展，使现代生物技术对人类的影响越来越突出，与生物技术相关的产业逐渐成为 21 世纪国民经济的支柱产业之一。20 世纪 70 年代，在分子生物学、微生物学、细胞生物学、细胞工程学、分子遗传学等多门学科基础上诞生了基因工程，并成为发展最为迅猛、最为引人注目的学科，它以 DNA 重组技术为核心，实现了按人类意愿跨物种基因交流进行定向改良生物性状，酝酿着一场对自然界和人类社会发展产生深刻影响的产业革命。生物安全随着基因工程的诞生应运而生，科学技术永远是一把双刃剑，在给人类造福的同时，其潜在的负面影响也突显出来。因此，生物安全问题也成为全社会关注的热点问题。各国政府相当重视基因工程产品的安全释放等问题，有关部门先后制定了国际公约和管理办法。我国政府也加强了有关工作的安全管理，为促进生物技术研究 and 产业化的健康发展，保障我国人民健康和生态环境安全发挥积极作用。

作为新时代农业院校的大学生，应该全面了解转基因技术的安全性问题，更好地掌握有关生物技术安全性的科学知识和管理问题，认识到生物技术在对人类生活和社会进步产生全面深刻影响的同时，与火药、核能等许多重大发明一样，也可能带来潜在的负面影响，了解生物安全在国家和社会可持续发展方面的重要性。

为了增进从事生物技术、细胞工程等生物专业的技术人员对生物安全的全面了解，使学生对基因工程产品有一个正确的认识和科

学严谨的态度，我们在参考有关生物安全相关研究成果及管理经验的基础上，结合多年的教学实践，编著了《生物安全》教材，旨在通过介绍生物安全知识，客观面对生物安全问题，逐步提高从业人员对生物安全的认识和科学管理水平，最大限度地兴利避害，利用现代生物技术为人类造福。

本教材第一章第一节由余丽芸编写；第一章第二、三节，第十章第四、五节，第十二章由王艳红编写；第二章、第三章由肖翠红编写；第四章、第七章由王景伟编写；第五章第一节至第四节由荆瑞勇编写；第五章第五节由王桂华编写；第六章由刘哲编写；第八章由唐彦君编写；第九章第一、二节，第十章第一、二、三节由曹宁编写；第九章第三节由陈松波编写；第十一章由高亚梅编写。全书由余丽芸、王桂华统稿，王桂华、肖翠红共同完成全书的校对工作。

本教材受黑龙江八一农垦大学特色教材项目资助，特此感谢。由于我们对有关资料的掌握和理解受到时间、水平的限制，因此，殷切地希望读者对书中的种种不足与错误给予指正，以便将来进行补充和完善。

编 者

2012年4月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 生物技术 .....	1
第二节 转基因生物是柄“双刃剑” .....	5
第三节 生物安全问题的提出及内涵 .....	11
<b>第二章 生物安全</b> .....	16
第一节 生物安全性评价 .....	16
第二节 生物安全控制措施 .....	23
第三节 生物安全管理体系及实施原则 .....	25
<b>第三章 转基因生物遗传稳定性的检验方法</b> .....	29
第一节 外源基因整合的检测 .....	29
第二节 外源基因在转录水平的检测 .....	45
第三节 外源基因在翻译水平的检测 .....	53
第四节 转基因生物检测新技术 .....	62
<b>第四章 转基因植物的安全性</b> .....	71
第一节 转基因植物研究进展 .....	71
第二节 植物转基因的方法 .....	77
第三节 用于植物转化的基因 .....	82
第四节 转基因植物的安全性评价 .....	91
第五节 转基因植物的安全性监测 .....	107
第六节 转基因植物的安全性评价的案例 .....	116
第七节 转基因植物历史事件的分析 .....	118





<b>第五章 转基因微生物的安全性</b> .....	125
第一节 转基因农业微生物应用与安全性研究 .....	126
第二节 转基因微生物及其产品的安全性 .....	137
第三节 遗传重组微生物环境检测 .....	158
第四节 转基因微生物安全性评价的案例 .....	164
第五节 转基因微生物历史事件的分析 .....	166
<b>第六章 转基因动物的安全性</b> .....	173
第一节 转基因动物研究进展 .....	173
第二节 动物转基因的方法 .....	177
第三节 用于动物转化的基因 .....	186
第四节 转基因动物的研究与产品的安全性评估 .....	192
第五节 转基因动物研究与产品开发监控 .....	203
第六节 转基因动物研究及安全性管理 .....	210
第七节 转基因动物安全性评价的案例 .....	215
第八节 转基因动物历史事件的分析 .....	218
<b>第七章 基因工程生物制剂的安全性</b> .....	223
第一节 兽用生物制剂的安全性 .....	223
第二节 人用生物制剂的安全性 .....	239
第三节 基因工程生物制剂安全性评价的案例 .....	266
第四节 基因工程生物制剂历史事件分析 .....	270
<b>第八章 转基因食品的安全性</b> .....	274
第一节 转基因食品的发展现状 .....	274
第二节 转基因食品的分类和特点 .....	278
第三节 转基因食品食用安全评价 .....	282
第四节 转基因食品安全性评价的案例 .....	305
第五节 转基因食品历史事件的分析 .....	315
<b>第九章 转基因水生生物的安全性</b> .....	321
第一节 转基因水生生物的发展现状 .....	321



第二节	转基因水生生物的安全性评价 .....	322
第三节	转基因水生生物安全性评价的案例 .....	342
<b>第十章</b>	<b>实验室生物安全 .....</b>	<b>349</b>
第一节	实验室生物安全风险分析 .....	349
第二节	常见试验操作的风险 .....	355
第三节	生物安全实验室的分级 .....	364
第四节	生物安全实验室设施和装备要求 .....	375
第五节	个人防护装备 .....	388
<b>第十一章</b>	<b>大规模生产的生物安全 .....</b>	<b>397</b>
第一节	大规模生产的生物危害 .....	397
第二节	大规模生产的有关规范 .....	406
第三节	大规模生产的释放与安全防护设备 .....	417
第四节	紧急应变计划 .....	428
第五节	大规模生产的风险评估 .....	430
第六节	大规模生产的“三废”处理 .....	431
<b>第十二章</b>	<b>生物安全的公众教育与公众参与 .....</b>	<b>441</b>
第一节	国外农业转基因生物安全管理政策和法规 .....	441
第二节	国内农业转基因生物安全管理政策和法规 .....	446
第三节	建立生物安全公众参与的机制 .....	449

# 第一章 绪 论

20 世纪最后 20 年，生物技术 (biotechnology, BT) 以前所未有的速度迅猛发展，一批新兴的生物技术产业已经或正在形成。毫无疑问，生物技术将成为 21 世纪最具发展前景的高技术领域和国民经济的支柱产业之一。

事物都是一分为二的。如同许多重大科学技术发明 (如火药、电能、核能等) 一样，生物技术在带给人类社会文明进步的同时，也存在安全性问题。如果对此缺乏充分认识，可能会造成不良后果。本书的主题就是介绍和讨论有关生物安全性的科学知识和管理问题。为使读者对于生物技术的安全性问题有一全面了解，作为全书的引言，本章概要地介绍生物技术的一些基本知识，包括概念、研究、开发进展及存在问题等。

## 第一节 生物技术

### 一、何谓生物技术

随着现代生物技术产品越来越多地进入市场和寻常百姓家，“生物技术”、“生物工程”、“基因工程”这些术语逐渐家喻户晓。但究竟什么是生物技术？却很少有人能给出清楚明白的定义，要准确定义生物技术，先要了解组成生物技术的基本内容有哪些。一般来说，生物技术由三个互相关联的基本要素组成。

#### (一) 采用现代生命科学的基础理论和技术

生命科学涉及生物学、医学和农学等与生命有关的学科领域。其中，生物学理论和技术是现代生物技术最重要的基础。在生物学中又有遗传学、生理学、生物化学、生物物理学、细胞生物学、分子生物学、生物信息学等许多学科和分支学科，探讨的问题从 DNA 到蛋白质、从染色体到细胞、从生理现象到遗传变异、从受精到凋亡、从个体发育到物种进化等，不胜枚举。



## (二) 生物材料或生物系统应用

开发利用的生物材料可以是微生物、植物和动物体，或者是它们的器官、组织、细胞、细胞器，或是无细胞系统、酶系统等。利用生物特有的方式，在适当的条件下，经济地制备人类所需要的生物活性物质。

## (三) 通过一定的工程系统（生产工艺、设备等）获得产品或提供服务

通过工程学途径，规模化地制备市场需要的生物产品，如药品、细胞或 DNA 制品、组织或器官、动植物新品种、食品、饲料、肥料、试剂、材料等，以及提供能治疗预防疾病、改善自然生态环境、消除环境污染等方面的服务。

鉴于上述基本认识，我们认为应赋予“生物技术”如下定义：生物技术是以现代生命科学理论为基础，利用生物体及其细胞的、亚细胞的和分子的组成部分，结合工程学、信息学等手段开展研究及制造产品，或改造动物、植物、微生物等，并使其具有所期望的品质、特性，从而为社会提供商品和服务的综合性技术体系。

由此可见，生物技术不仅仅是一门与生命科学相关的技术，还包含工艺、设备等工程学内容，故也称其为“生物工程（biological engineering, BE）”。

应该提及，对生物技术还有两种不同的定义。一种定义认为，凡是有有机体及其产物开发产品的技术，都是生物技术。由此认为生物技术自古就有。如人类千百年来酿酒、酿醋、制酱、腌制泡菜、发面、动植物育种和良种繁殖等传统生产活动，都可称之为生物技术。这一定义强调了生物技术广义的概念，但与多数学者对生物技术的理解有相当的距离，至多只能称其为传统生物技术。另一种定义认为，生物技术仅指基因工程，只有应用重组 DNA 的技术，才是生物技术。有人将这一定义称作“狭义的生物技术”。客观地说，基因工程只是生物技术中十分重要的内容之一，但不是现代生物技术的全部。

生物技术的内容还包括细胞工程、微生物工程、酶工程和生化工程。当然，上述分类方式只是相对的，不仅它们之间常常互相渗透、互为补充、互为上下游，而且这几个“工程”虽是生物技术的重要内容，但尚不能涵盖全部内容。且随着生物学和生物技术向纵深发展，不断有一些新的内容出现，特别是人类和生物的基因组学、蛋白质组学、生物芯片、生物信息学等重大技术的出现，已经大大扩展了生物技术的内涵。

## 二、生物技术发展概况

### (一) 世界生物技术发展概况

自 20 世纪 50 年代以来，现代生物技术产业蓬勃发展，特别是在医药、农牧业、食品等方面，已经体现了巨大的经济效益和社会效益。90 年代以来，



随着基因组计划的发展,除了上述传统应用领域以外,生物技术不断融入化工、环境、能源、自动化和计算机等领域。

**1. 生物技术产品销售额增长迅速** 1982年,世界上第一个基因工程药物——重组人胰岛素获准生产销售。之后,以基因工程药物为主的各种基因工程产品和细胞工程产品陆续商品化。1980年,美国现代生物技术产品的销售额还是零增长,1991年为59亿美元,1996年已达到101亿美元,1997年为130亿美元,2005年达到507亿美元,2006年有19个生物技术产品的年销售额超过5亿美元。其中,Avastin、Erbix和Herceptin都有10%以上的年增长率。2009年,美国食品和药物管理局(FDA)共批准了19个新分子实体(NME)和6个治疗性生物制剂(BLA)共25个新药,使数千患者受益,生物技术产品的销售额迅速增长。

**2. 新医药是当前生物技术的主体产品** 单克隆抗体诊断试剂是应用淋巴细胞杂交瘤技术最先实行商品化的一类产品。自1981年美国批准第一种单抗诊断试剂商品化生产以来,至今世界销售的单抗诊断试剂已达数百种之多。

现代生物技术研究最多、发展最快的是治疗药物。目前,美国大约1300家生物技术公司的60%以上、欧洲大约700家生物技术公司的43%以上,都在从事生物药品的研究开发。应用现代生物技术,主要是开发那些可用于治疗癌症、心脑血管疾病、艾滋病、遗传病等各种重大疾病而用常规方法又难于获得的药物。截至2009年底,经FDA批准上市的生物技术药物有163种,其中1/2以上的药物是在过去的7年中上市的。日本、欧盟等批准上市生物技术药物100余种。估计全球有超过4亿的人口使用过生物技术药物。这些生物技术药物中包括治疗白血病、充血性心力衰竭、风湿性关节炎以及甲型和乙型肝炎的联合疫苗等。

自1982年美国FDA批准第一个基因工程药品重组人胰岛素正式生产以来,美国现已有基因重组人生长激素、红细胞生成素、干扰素、白细胞介素、集落刺激因子、疫苗、单抗等50余种生物技术药物获FDA批准上市。迄今为止,世界各国(以美国公司为主)共计开发上市70~80种治疗用重组DNA药品。2004年,国际基因工程药品总销售额为417.44亿美元,约占全球医药市场总销售额的10%。到2010年,全球基因工程药品市场规模超过500亿美元。

**3. 生物技术发展的“第二个浪潮”将在农业领域掀起** 过去的十几年间,生物技术研究开发的60%~80%集中在医药领域,基因工程药物的研究和商品化,被称为生物技术产业发展的“第一个浪潮”。近年来,这一态势开始发生变化。随着动植物转基因技术的不断成熟和发展,以及迄今尚未出现人们所



担心的环境释放安全性问题，农业生物技术迅速发展起来，围绕转基因农作物的竞争日趋激烈，已在世界范围内掀起了生物技术及产业发展的“第二个浪潮”。

据国际农业生物技术应用服务组织统计，1996年至2009年间，转基因作物种植面积增长了80倍，2009年，共有25个国家的1400万农户种植了1.34亿 $\text{hm}^2$ 的转基因作物，全球市场价值达105亿美元，使转基因成为农业近代史上利用最快的作物育种技术。

## （二）我国生物技术产业发展现状

近年来，我国的生物技术取得了很大的发展。初步形成了医药生物技术、农业生物技术、轻化工生物技术、海洋生物技术等门类齐全的生物技术研究、开发、生产的体系；取得了一批具有较高水平的生物技术研究开发成果，开发出一批生物技术产品并投放市场。

**1. 现代生物技术产品的销售额大增** 我国科学技术部发布了《“十二五”生物技术发展规划》。《“十二五”生物技术发展规划》中表示，全球生物产业的销售额每5年翻一番，年增长率高达30%，是世界经济增长率的10倍，生物产业已成为增长最快的经济领域。2010年，我国生物产业产值超过1.5万亿元。

### 2. 1996—1997年出现第一个基因工程产品商品化高峰

（1）基因工程药物 1989年，我国自主研发的基因工程重组人干扰素 $\alpha 1b$ 正式上市。1992年，自主研发的基因工程乙肝疫苗获准投放市场。1996—1997年两年内，我国有基因工程重组干扰素、白细胞介素、红细胞生成素等11种基因工程药物获准进行商品化生产。1998年，又批准重组人胰岛素和重组人生长激素进行商品化生产。

（2）转基因植物 自1996年11月我国正式公布实施《农业生物基因工程安全管理实施办法》以来，我国已批准转基因抗虫棉、转基因耐贮番茄等6件转基因植物商品化，其中5件是我国自主开发的。

**3. 生物技术在许多领域已发挥重要作用** 除上述基因工程产品之外，我国在动植物细胞工程育种方面已产生了较好的经济和社会效益，两系杂交稻累计种植面积已达200万 $\text{hm}^2$ ，并开始走向世界，仅东南亚国家目前的订单已超过1000万t；生物农药和生物肥料正迅速发展；传统的大宗发酵产品生产中的能耗高、物耗高、环境污染严重的情况已开始得到改善；我国的疾病诊断技术已经发生了重大变化。但生物技术产业中仍存在如下问题，如产业规模尚小、产品缺乏创新、支撑技术和生产装备落后、尚未形成社会化发展格局等。



### 三、生物技术的双重性

人们通过现代生物技术能够直接操作生命遗传物质——基因，通过操作基因可以改变微生物、植物和动物的某些生物学性状、代谢产物甚至生命活动的某些过程。这意味着人类可以在一定程度上设计、并定向改造某种生物，而这种人为改造的生物是原来自然界本来就不存在的。将这种生物释放进入到环境中后，它在环境中如何演变以及对其所生存的生态环境起什么作用，特别对其他本土生物物种和生物多样性产生何种影响都是未知问题。由于生物技术具有正负两方面的双重特性，其负效应风险具有不确定性和难预测性，所以，一般情况下，生物技术及其产物是严格受控的。一旦这些人为改造的生物活体逃逸或因疏忽而进入环境，其后果可能是严重的。

现代生物技术产业是高新技术产业，对推进经济发展和社会进步将有巨大作用。生物技术在农业、医药、食品、环保、轻工等部门会起着越来越大的作用，甚至有取代一些行业原有技术和工艺的趋势，生物技术产业可能成为 21 世纪的支柱产业之一，有人甚至还认为“基因世纪”即将到来。生物技术中蕴藏着巨大商机。当前，全世界已有几十种转基因植物和现代生物技术药物进入商品化生产，为一些国家带来巨大的商业利益。但是，在生物技术迅速发展的同时，还必须冷静清醒地看到现代生物技术主要是重组 DNA 技术，而重组 DNA 技术有可能给人类及生态环境带来一些潜在的、不确定性的危险，造成新型生物安全问题。

## 第二节 转基因生物是柄“双刃剑”

### 一、对转基因生物的期望

转基因生物 (genetically modified organisms, GMO) 指经遗传基因修饰了的生物体。转基因生物包括转基因动物、转基因工程药物和转基因作物，用转基因生物材料制成的食品称为转基因食品。转基因生物及其产品是现代生物技术或基因工程技术的产物，是当代科学技术的进步与成功，但它也与科学技术一样是柄“双刃剑”，福祸相倚、好坏相依，如何趋利避害、化险为夷，在于对其正反两方面的关系和机制有充分的认识，要掌握得法、监管适宜、运用恰当。必须加强转基因生物安全监管，给公众以充分信息，让公众从非理性的恐慌和迷茫中明智地走出来。

#### (一) 人类需要更多的粮食

2011 年 10 月世界人口约 70 亿，至此，世界成为 70 亿人的世界，在 21



世纪末将超过 100 亿。因此人口增长与粮食短缺成为人们日益关注的焦点。但是，世界粮食生产地区不均。发达国家人口占世界的 1/4，生产粮食占世界的 1/2，发展中国家人口占世界的 3/4，生产粮食占世界的 1/2。另一方面，少数发达国家又苦于粮食“过剩”卖不出去。例如，美国、加拿大、澳大利亚、法国等，每年需花费大量金钱保管粮食，甚至想法减少粮食生产。

世界粮农组织对全球的粮食供应情况进行预测时指出，未来的粮食问题很严峻。如土地的有效利用率降低，全球气候变化对农业是极大的威胁，特别是干旱和洪水等自然灾害往往导致发生农业危机，但如果政府对危机反应敏锐并处置恰当，也可化危为安或化险为夷。

## （二）全球食物安全供应期望于转基因技术

2010 年 2 月，美国《科学》杂志重点关注世界粮食问题，认为转基因技术可能是未来解决世界粮食危机的重要手段，将会在世界粮食安全方面发挥重要作用。转基因技术不仅可望提高粮食或作物的产量，还可提高农作物品质，大大缩短作物生长期或使农作物高产。例如，西班牙科学家 Pena 等从拟南芥菜中提取一种基因插入柑橘树，使原来要 5~6 年才成熟的柑橘树，在一年内开花结果。又如，德国科学家 Farre 等培育的马铃薯在栽种后 15 周就可收获，比普通马铃薯块茎收获时间要提早 7 周多，并且这种新品种能产生一种细菌酶，能分解使马铃薯萌芽的焦磷酸盐而阻止其出芽。

## （三）转基因生物的巨大经济效益和潜力

以美国为例，1996 年，70% 的 Bt 转基因棉花可以不再喷洒杀虫剂，产量提高 70%，每公顷节约 140~180 美元。美国原来每年有大约一半（3 200 万  $\text{hm}^2$ ）的玉米田受到多种病虫害危害，年损失至少 10 亿美元；而种植 Bt 转基因玉米后，产量提高 9%，经济效益 1996 年是 190 万美元，1997 年是 1 900 万美元。加拿大 1996 年种植 1 200 万  $\text{hm}^2$  耐除草剂的转基因油菜，结果产量提高 9%，经济效益 600 万美元。中国种植转基因抗虫棉花，在 1997—2000 年的 4 年间（2000 年为 50 万  $\text{hm}^2$ ）总经济效益达 3.37 亿元。2000 年，全世界转基因作物的产值超过 30 亿美元，2010 年，转基因作物总产值大于 300 亿美元。

## 二、转基因生物的潜在生态风险

### （一）转基因生物的潜在生态风险问题

早在 1992 年公布的《生物多样性公约》有关条款中就明确指出，转基因生物存在着潜在性生态风险，并有专门的条款论述有关风险及怎样避免风险与挽救对策，要求制定或采取办法酌情管制、监管或控制由生物技术改变的活生





物在使用和释放时可能产生的危险。一般来说,普通自然界存在的外来种进入新的生态环境,其对生态环境或生物多样性造成的威胁或危险要经历相当长的一段时间才会显现出来,有时需要 10~15 年或更长的时间。而人工创制的转基因生物,其商品化种植至今最长的也不过 5~6 年的时间,却有多种转基因生物已表现出相当显著的危害和风险,这是应该高度关注的。

转基因生物对生态环境的不利影响是多方面的,例如,对农田生态系统的影响、对自然生态系统的影响、对生物多样性(包括物种和遗传多样性)的影响。转基因生物的“基因漂流”造成“基因污染”可能引起农田生态系统中产生多种新的农田杂草。

## (二) 转基因生物的“基因污染”造成生态问题

早在 1998 年,加拿大西部的 Alberta 省就发现一种 Canola 油菜 (*Brassica napus*),它由于“基因污染”而含有由抗草甘膦、抗固杀草(草铵膦, glufosinate)、抗咪唑啉类除草剂(imidazolinones)等三种转基因堆积而成的“广谱抗除草剂基因”(HT 基因, herbicide tolerant)。从遗传学上讲,这种独特的自生、异交作物自生异交形成的 HT 基因不是由一个基因控制,而是由一群基因控制。多抗性 HT 基因的产生是不同耐除草剂转基因品种间基因多重交流而自生异交的结果。这种多抗性怪异油菜的种子爆荚、休眠期长、种子很小、圆而光滑,可随风传播到相当远(800m 以上)的距离,更易造成“基因污染”和扩散,而且一般除草剂对其无可奈何,要动用百草枯(Paraquat)和 2,4-D 才有效。HT 基因群可以稳定遗传,在其同一条染色体上的相邻位置被插入有几个外源性目的基因,是堆积的基因群。据 2001 年 8 月报道,在加拿大主要的转基因作物是耐除草剂的 GM 油菜,这种作物通过“基因漂流”正在变成多种杂草,有些甚至是多抗性的“超级杂草”。这类新的转基因杂草成为新的危害,它具有很强的抗除草剂性状与能力,利用常规的除草剂不能杀死或除去这类新的转基因杂草。更有甚者,加拿大不少从未种植过转基因 GM 油菜的田野,由于从远方漂流过来的转基因花粉使近缘植物杂交而出现“基因污染”,结果生成了新的抗除草剂杂草。

Bt 转基因抗虫植物实质上是以苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*, 简称 Bt)的基因作为目的基因,经人工移植 Bt 基因于农作物的基因中形成修饰了的生物体。为了更好地利用这种天然杀虫资源,从 Bt 中分离出合成 ICPs 的编码基因经修饰改造后导入植物细胞,使其自身产生 ICPs 而具有杀虫特性,这就是转 Bt 抗虫性植物的抗虫机理。转 Bt 的玉米、棉花、马铃薯在美国已正式商品化。由于 Bt GMO 的抗虫性,其 ICPs 在叶片中最高含量可达 1 000ng/g 鲜叶片,有良好杀虫效应。但是 Bt GMO 对非靶标昆虫也有毒性,对天敌以