

# 第6章 从杂交育种到基因工程

自从人类开始种植作物和饲养动物以来，就从未停止过对品种的改良。传统的方法是选择育种，通过汰劣留良的方法来选择和积累优良基因。自从孟德尔发现了遗传规律之后，人工杂交的方法被广泛应用于动植物育种。人工诱变技术的应用，使育种方法得到了较大的改进。基因工程的诞生，使人们能够按照所设计的蓝图，进行跨越种间鸿沟的基因转移，从而定向地改变生物的遗传特性，创造出新的生物类型。



选育、杂交、诱变，  
实践—理论—实践，  
几多辉煌，几多遗憾。  
基因工程异军突起，  
朝阳产业，光明无限！



# 第1节 杂交育种与诱变育种

## 问题探讨



玉 米

设想你是一位玉米育种专家，遇到这样的情况：品种A子粒多，但不抗黑粉病；品种B子粒少，但抗黑粉病。

### 讨论：

1. 你用什么方法既能把两个品种的优良性状结合在一起，又能把双方的缺点都去掉？将你的设想用遗传图解表示出来。
2. 你预计在实际操作中可能会遇到哪些困难？怎样才能解决这些困难？
3. 你还能说出哪些育种实例？

### 本节聚焦

- 杂交育种的原理是什么？
- 什么是诱变育种？
- 杂交育种和诱变育种各有  
哪些优点和不足？

大约在一万年以前，古人就开始驯化野生动物、栽培植物。在生产实践中，人们知道要挑品质好的个体来传种。这样利用生物的变异，通过长期选择，汰劣留良，就能培育出许多优良品种，比如产量高、能抗病虫害的粮食作物，产奶、产肉、产蛋较多的家畜、家禽，等等。

玉米起源于美洲大陆，15世纪传入欧洲，16世纪经葡萄牙传入中国，现在遍布全世界。远在古代，美洲的印第安人就选择和培育了许多穗大粒饱的玉米。原来他们把玉米奉为神灵，用做祭祀的玉米是在隔离条件下种植的，经过精心管理和认真选育，不仅果穗硕大、颗粒饱满，而且品质优良，无任何杂粒，这样就选育出了具有优良性状的玉米品种。

选择育种不仅周期长，而且可选择范围是有限的。在实践中，人们逐渐摸索出杂交育种的方法。

### 杂交育种

当你完成上面的“问题探讨”的时候，你已经在尝试从理论上探索杂交育种的方法了。下面这个小麦的例子帮助你更好地理解杂交育种。

要想把两个小麦品种的优良性状结合在一起，育种上一个有效的方法就是把这两个品种杂交，使基因重组

(图6-1)。从第二代中挑选高产、抗病的个体，将它们的种子留下来，下一年播种。再从后代中挑选出符合高产抗病条件的植株，采收种子留下来做种。如此经过几代汰劣留良的选择过程，就可以得到新的优良品种了。

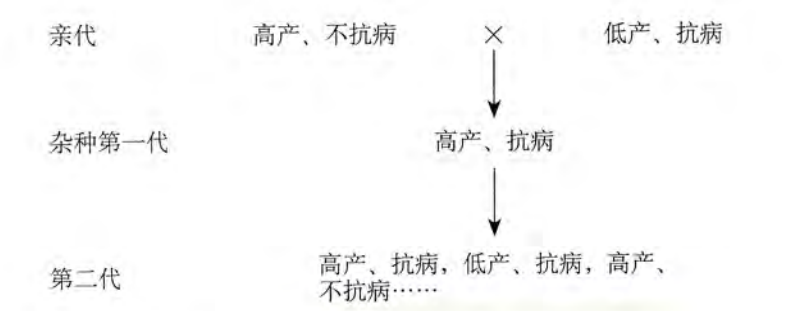


图 6-1 两个小麦品种杂交育种过程示意图

由此可见，杂交育种（cross breeding）是将两个或多个品种的优良性状通过交配集中在一起，再经过选择和培育，获得新品种的方法。在农业生产中，杂交育种是改良作物品质，提高农作物单位面积产量的常规方法。现在，在小麦、水稻生产中大量推广的高产、矮秆品种就是通过杂交育种的方法培育出来的。

我国科学家袁隆平多年来一直致力于杂交水稻的研究，取得了骄人的成绩。据统计，我国有一半以上的稻田种植杂交水稻。通过推广杂交水稻，我国的水稻产量从原来的 4 500 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 7 500 kg/hm<sup>2</sup>。从 1976 年到 1998 年，累计增产粮食 3.5 × 10<sup>8</sup> t，平均每年多解决约 6 000 万人的粮食问题。

杂交育种的方法也用于家畜、家禽的育种。将引进的优质种牛与本地品种杂交，可以培育出适应性强的乳用、肉用或乳肉兼用型优良品种。我国奶牛的主要品种中国荷斯坦牛（原称中国黑白花牛）（图 6-2），是将国外的荷斯坦—弗里生牛引进后，在我国经过长期驯化，与当地黄牛进行杂交和选育，逐渐形成的优良种。这种牛的泌乳期可达 305 d，年产乳量可达 6 300 kg 以上。

杂交育种依据的遗传学原理是什么？

相关信息

达尔文曾指出：“自然界提供延续性变异，人在对他有用的某些方向上把这些变异累加起来……人为地制造了有用品种。”



图 6-2 中国荷斯坦牛



思考与讨论

杂交育种的优点是明显的，但是在实际 现的各种类型，以及育种时间等方面，分析杂交 操作中会遇到不少困难。请从杂交后代可能出 育种方法的不足。



## 诱变育种

杂交育种只能利用已有基因的重组, 按需选择, 并不能创造新的基因。杂交后代会出现分离现象, 育种进程缓慢, 过程复杂。有没有更好的育种方法来弥补这些缺陷呢?

我们知道, 物理因素或化学因素都能诱发基因突变。将这一原理应用在育种中, 就发展为育种的新方法——诱变育种 (mutation breeding), 也就是利用物理因素 (如 X 射线、 $\gamma$  射线、紫外线、激光等) 或化学因素 (如亚硝酸、硫酸二乙酯等) 来处理生物, 使生物发生基因突变。用这种方法可以提高突变率, 在较短时间内获得更多的优良变异类型。

20 世纪 60 年代以来, 我国在农作物诱变育种方面取得了可喜的成果, 培育出了数百个农作物新品种。这些新品种具有抗病力强、产量高、品质好等优点, 在农业生产中发挥了巨大作用。例如, 黑龙江省农业科学院用辐射方法处理大豆, 培育成了“黑农五号”等大豆品种, 产量提高了 16%, 含油量比原来的品种提高了 2.5%。

20 世纪 50 年代以前, 我国大豆产量居世界首位。到了 60 年代末 70 年代初, 我国大豆生产严重下滑, 生产满足不了需求。后来, 我国科学家应用 X 射线和化学诱变剂进行人工诱变处理, 从诱变后代中选出抗病性强的优良个体, 具有这些性状的大豆不断繁衍, 至今仍然是我国抗病性最强和应用最广的种源。

在微生物育种方面, 诱变育种也发挥了重要作用。青霉菌的选育就是一个典型的例子。现在世界各国生产青霉素的菌种, 最初是在 1943 年从一个发霉的甜瓜上得来的。这种野生的青霉菌分泌的青霉素很少, 产量只有 20 单位/mL。后来, 人们对青霉菌多次进行 X 射线、紫外线照射以及综合处理, 培育成了青霉素产量很高的菌株, 目前青霉素的产量已经达到 50 000~60 000 单位/mL。



部分青霉素制剂

### ► 相关信息

常用的青霉素有青霉素钠盐和青霉素钾盐等。青霉素钠 0.6  $\mu\text{g}$  为 1 单位, 青霉素钾 0.625  $\mu\text{g}$  为 1 单位。



### 思考与讨论

与杂交育种相比, 诱变育种有什么优点? 联系基因突变的特点, 谈谈诱变育种的

局限性。要想克服这些局限性, 可以采取什么办法?



## 练习

### 一、基础题

1. 杂交育种所依据的主要遗传学原理是:

- A. 基因突变; B. 基因自由组合;  
C. 染色体交叉互换; D. 染色体结构变异。

答 [ ]

2. 据你所知道杂交选育新品种之外, 杂交的另一个结果是获得:

- A. 纯种; B. 杂种表现的优势;  
C. 基因突变; D. 染色体变异。

答 [ ]

3.  $^{60}\text{Co}$  是典型的  $\gamma$  放射源, 可用于作物诱变育

种。我国运用这种方法培育出了许多农作物新品种, 如棉花高产品种“鲁棉1号”, 在我国自己培育的棉花品种中栽培面积最大。 $\gamma$ 射线处理作物后主要引起\_\_\_\_\_, 从而产生可遗传的变异。除 $\gamma$ 射线外, 用于诱变育种的其他物理诱变因素还有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

### 二、拓展题

假设你想培育一个作物品种, 你想要的性状和不想要的性状都是由隐性基因控制的。试说明培育方法, 画出遗传图解, 并说明这种方法的优缺点。



## 与生物学有关的职业

### 育种工作者

**就业单位:** 农业科研单位(农科院、农科所等)、现代农业生产基地、园林设计单位、花卉生产企业等。

**主要任务:** 培育动植物新品种, 新品种应当具有符合生产需求, 如抗病虫害、抗盐碱、抗旱、抗寒、高产、优质等特性。

**工作方式:** 实验室或实验田是主要的工作场所, 活生生的动植物是操作的对象, 科学文献和相关仪器设备是必不可少的工具。

**学历要求:** 生物学、农学、林学等专业大学本科以上学历。

**须具备的素质:** 你是在创造自然界本来没有的动植物新品种, 首先要具有勇于创新的精神。当然, 还应当具有生物学知识基础, 特别是关于动植物生殖和遗传的知识。要想培育一

个新品种, 不可能一蹴而就, 失败往往多于成功, 因此, 你必须有承受挫折、永不气馁的心理素质。有时在试验田一蹲就是很多天, 怕苦怕累的人是难以胜任的。

**职业乐趣:** 你有更多的机会亲近自然。当你看到辛勤培育的新品种投入生产, 给农民带来丰收的喜悦时, 在精神上会获得丰厚的报偿。



育种专家袁隆平(左)和他的助手



## 第2节 基因工程及其应用

### 问题探讨



转入人胰岛素基因的大肠杆菌

图中可不是普通的细菌，它是“嫁接”了人胰岛素基因的工程菌。虽然看起来与普通细菌没有什么不同，但它能大量合成人胰岛素，用来治疗糖尿病等疾病，使胰岛素的生产成本大大降低。

#### 讨论：

你知道为什么能把人的基因“嫁接”到细菌上吗？你能推测出，这种基因的“嫁接”是怎么实现的吗？你能举出一些类似的、与你的生活关系很密切的例子吗？

### 本节聚焦

- 什么是基因工程？
- 基因工程的原理是什么？
- 基因工程有哪些应用？
- 转基因食品安全吗？

尽管作物和家畜的育种自史前开始一直延续至今，但是，传统育种的方法一般只能在同种生物中进行，很难将一种生物的优良性状，移植到另一种生物身上。基因工程的出现使人类有可能按照自己的意愿直接定向地改变生物，培育出新品种。

### 基因工程的原理

基因工程，又叫做基因拼接技术或DNA重组技术。通俗地说，就是按照人们的意愿，把一种生物的某种基因提取出来，加以修饰改造，然后放到另一种生物的细胞里，定向地改造生物的遗传性状。基因工程是在DNA上进行的分子水平的设计施工，需要有专门的工具。“基因剪刀”、“基因针线”和“基因的运载体”是基因工程最基本的工具。

**基因的“剪刀”** 基因的“剪刀”指的是限制性核酸内切酶（以下简称限制酶）。一种限制酶只能识别一种特定的核苷酸序列，并在特定的切点上切割DNA分子（图6-3）。例如，大肠杆菌中的一种叫做EcoRI的限制酶，能够专一识别GAATTC的序列，并在G和A之间将这段序列切开。

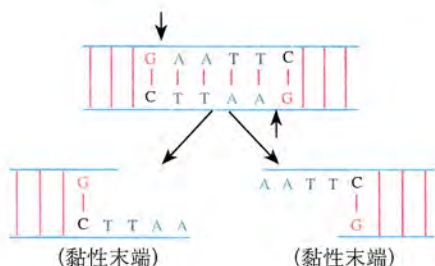


图6-3 限制酶切割DNA分子示意图

**基因的“针线”** 两种来源不同的DNA用同种限制酶切割后，末端可以相互黏合，但是，这种黏合只能使互补的碱基连接起来，脱氧核糖和磷酸交替连接而构成的DNA骨架上的缺口，需要靠DNA连接酶来“缝合”(图6-4)。

**基因的运载体** 要将外源基因送入受体细胞，还需要有专门的运输工具，这就是运载体。目前常用的运载体有质粒(图6-5)、噬菌体和动植物病毒等。质粒存在于许多细菌以及酵母菌等生物的细胞中，是拟核或细胞核外能够自主复制的很小的环状DNA分子。

基因工程的操作一般要经历如下图所示的四个步骤(图6-6)：提取目的基因、目的基因与运载体结合、将目的基因导入受体细胞、目的基因的检测与鉴定。

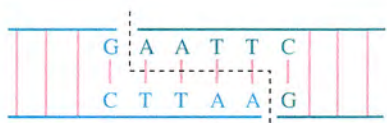


图6-4 DNA连接酶的连接作用示意图

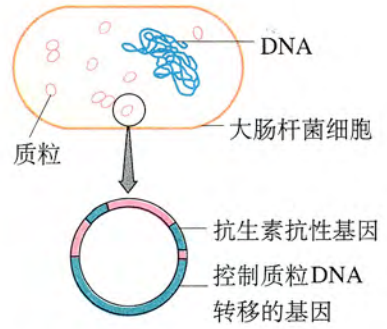


图6-5 大肠杆菌质粒的分子结构示意图

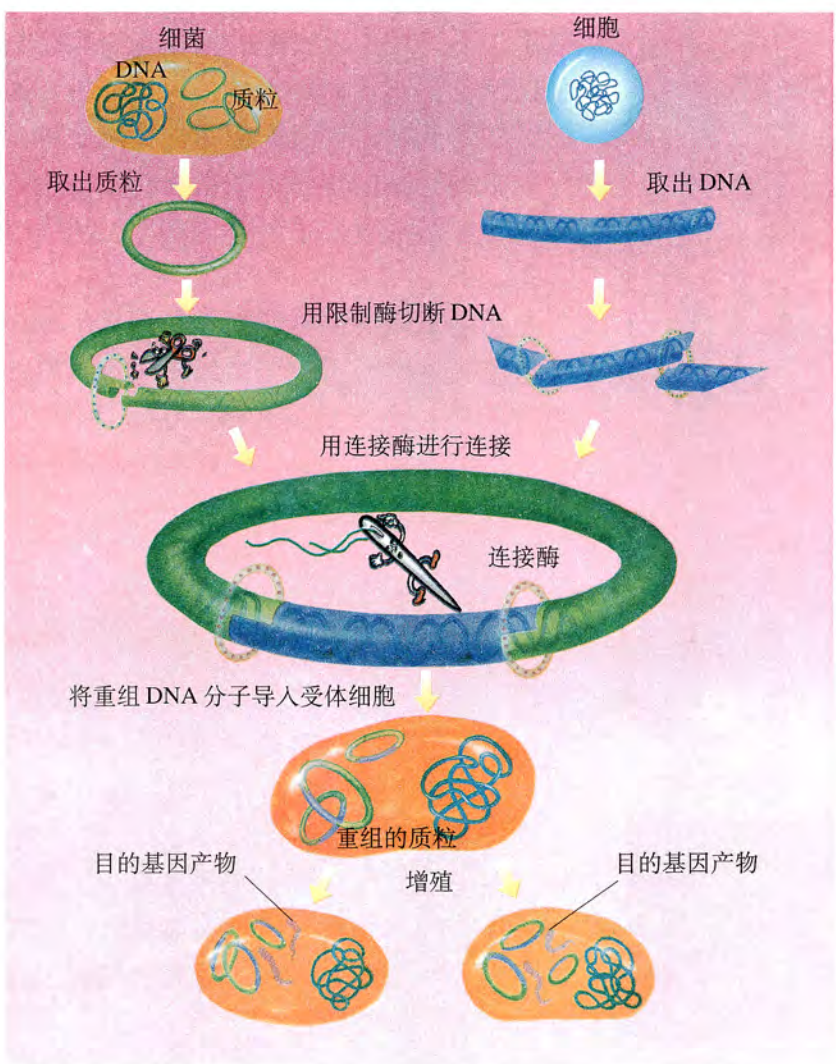


图6-6 基因工程操作的基本步骤示意图





图 6-7 抗虫棉（上）与  
普通棉（下）



图 6-8 基因工程药品生产车间



图 6-9 基因工程疫苗和药物

## 基因工程的应用

基因工程自20世纪70年代兴起以来,取得了突飞猛进的发展。基因转移、基因扩增等技术的应用不仅使生命科学的研究发生了前所未有的变化,而且在实际应用领域,如医药卫生、农牧业、食品工业、环境保护等方面也展示出美好的应用前景。

**基因工程与作物育种** 近几年来,人们利用基因工程的方法,获得了高产、稳产和具有优良品质的农作物,培育出具有各种抗逆性的作物新品种。

1993年,中国农业科学院的科学家成功地培育出了抗棉铃虫的转基因抗虫棉,抗虫的基因来自苏云金杆菌。苏云金杆菌形成的伴胞晶体是一种毒性很强的蛋白质晶体,能使棉铃虫等鳞翅目害虫瘫痪致死。科学家将编码这个蛋白质的基因导入作物,使作物自身具有抵御虫害的能力。如今,科学家已利用这一基因成功地培育出了抗虫的烟草、玉米、水稻和棉(图6-7)等多种作物。抗虫基因作物的使用,不仅减少了农药的用量,大大降低了生产成本,而且还减少了农药对环境的污染。此外,人们还培育出了耐贮存的番茄、耐盐碱的棉花、抗除草剂的玉米、油菜、大豆等多种转基因作物。在畜牧养殖业上,科学家利用基因工程的方法培育出了转基因奶牛、超级绵羊等多种转基因动物。

**基因工程与药物研制** 在药品生产中,有些药品是直接从生物体的组织、细胞或血液中提取的。由于受原料来源的限制,价格十分昂贵。用基因工程的方法能够高效率地生产出各种高质量、低成本的药品,如胰岛素、干扰素和乙肝疫苗等(图6-8,图6-9)。

胰岛素是治疗糖尿病的特效药。以往临床上给病人注射用的胰岛素主要从猪、牛等家畜的胰腺中提取,每100 kg胰腺只能提取4~5 g胰岛素。用这种方法生产的胰岛素产量低,价格昂贵,远远不能满足需求。1978年,科学家将人体内能够产生胰岛素的基因与大肠杆菌的DNA分子重组,并且在大肠杆菌内获得成功的表达。这样,用2 000 L大肠杆菌培养液就可以提取100 g胰岛素,相当于从2 t猪胰腺中提取的量。1982年,美国一家基因公司用基因工程方法生产的胰岛素开始投入市场。

用基因工程方法生产的药物还有干扰素、白细胞介素、溶血栓剂、凝血因子,以及预防乙肝、霍乱、伤寒、疟疾的疫苗,等等。



除了上述作用以外，基因工程技术还可用于环境保护，如利用转基因细菌降解有毒有害的化合物，吸收环境中的重金属，分解泄漏的石油，处理工业废水等。

转基因生物和转基因食品的安全性

当人类拥有了只有大自然才拥有的改造生物、创造生物的能力时，也感到了不安与困惑。人类是否有权利按照自己的意愿操纵地球上的生命？人类创造的转基因生物、转基因食品是否会危害整个生物圈，包括人类自身？这些问题曾引起了全球范围的大辩论，而辩论的起因源于对老鼠的实验。

论，而辩论的起因源于对老鼠的实验。

1998年，英国一位生物学家在电视节目中宣布：老鼠食用了转基因马铃薯后，肾、脾和消化道都出现了损伤，体重和器官重量减轻，免疫系统遭到破坏。电视播出后，引起了人们对转基因食品的极度恐惧。尽管审查表明这一实验存在明显的漏洞，结果不可信，但仍无法消除人们的疑虑。下面的资料包含了对转基因生物和转基因食品的不同态度，请在此基础上，进一步搜集资料，并针对这一问题发表你的个人意见。



资料分析

转基因生物和转基因食品的安全性

一种观点 转基因生物和转基因食品不安全，要严格控制

- 1. 一个简陋的小实验室，就能把艾滋病病毒与感冒病毒组装到一起，使艾滋病病毒像感冒一样，大范围地传播。
- 2. 1999年5月20日的《自然》杂志报导：帝王蝶的幼虫在吃了某种转基因玉米的花粉沾染过的牛奶草叶子后，近一半的个体死亡，幸存的也不能正常发育。
- 3. 某些公司曾利用基因工程技术让细菌生产牛的生长激素（BST），然后定期给奶牛注射BST，使奶牛分泌更多的乳汁。但是，注射BST的奶牛，乳房感染更为频繁，必须用抗生素治疗，结果导致乳汁中含有抗生素。

.....

另一种观点 转基因生物和转基因食品是安全的，应该大范围推广

- 1. 转基因食品的构成与非转基因食品一样，都是由氨基酸、蛋白质和碳水化合物等物质组成的，从理论上分析是安全的。
- 2. 对转入了苏云金杆菌基因的西红柿进行毒性分析表明，这种转基因西红柿对人体健康没有影响。
- 3. 转基因作物能使贫穷国家的亿万人口摆脱饥饿，同时还能减少使用农药引起的环境污染。
- 4. 对于一种转基因食品，只要不能证明它不安全，就应该视为安全。否则就可能因为无休止的争论，而耽误了科学技术发展的时机。

.....

讨论

你认为应该如何对待转基因生物和转基因食品的安全性问题？

我国从一开始进行基因工程研究，就十分重视基因工程的安全性问题。2001年5月，

国务院公布了《农业转基因生物安全管理条例》，对农业转基因生物的研究和试验、生产



和加工、经营和进出口等作了具体规定。现在，我国越来越重视转基因生物及其产品的安全性，并且密切关注国际上有关管理法规的动向。



## 练习

### 一、基础题

1. 简述基因工程操作的几个步骤。
2. 假如用限制性内切酶 *EcoRI* 处理以下的 DNA 序列，会产生几个片段？请先写出下面的 DNA 序列的互补链，然后标出酶切位点。

ATCTCGAGACTGATTGGCCTTAAGCTCGA  
GATGACCATGGCCAGGCTCGAGCTGATGA

3. 将外源基因导入受体细胞时，常用的运载体有哪些？

### 二、拓展题

1. 细菌和人是差异非常大的两种生物，为什么通过基因重组后，细菌能够合成人体的某些蛋白质呢？
2. 如果你是一个生产基因工程产品的农场的经营者，你将如何向客户解释你的产品，并让他们放心地购买你的产品呢？
3. 设计并制作一则关于转基因作物和转基因食品安全性的公益广告，形式不限。



## 与生物学有关的职业

### 生物技术产业的研发人员

基因工程技术的飞速发展和广泛应用，使许多与之有关的产业正在悄然发生改变。其中最显著的要数制药工业、农业和食品工业。各种基因工程药物如激素、疫苗等研制成功，使千百万患者受益，“生物医学工程师”随之应运而生。在日本，种植业和养殖业的从业人员中，也出现了“生物工学农夫”等高新技术从业者；在我国，现代农业生产基地，对生物技术人才的需求也越来越大。在食品工业中，转基因食品的开发、生产和销售正在占有越来越大的市场份额。基因工程技术与这些传统产业的结合，催生了一种新兴产业的产生——生物技术产业。

生物技术产业的研发人员一般都须具

有较高的学历，掌握生命科学和生物工程技术的基本知识和操作技能，具有较强的实践能力和创新能力。这些新兴职业虽然现在还难以给出准确的名称，却已经显示它的魅力和前景。

像信息技术革命的突飞猛进一样，新的生物技术产业群体正等待着聪明的你去开拓。你做好准备了吗？



生物技术产业的研发人员





### 课外实践

## 调查转基因食品的发展现状

去超市调查，仔细看食品包装上的标签和说明，看看哪些是转基因食品。

去有关部门调查，了解我国转基因食品的研发和推广情况。

通过媒体调查等途径，了解我国或其他国家在对待转基因生物及转基因食品上有哪些法律规定，并解释这些法规所针对的安全性或其他问题，结合自己的观点，写一篇综述。

## 本章小结

改良动植物品种，最古老的育种方法是选择育种：从每一代的变异个体中选出最好的类型进行繁殖、培育。但是选择育种周期长，可选择的范围也有限。

在生产实践中，人类摸索出杂交育种的方法。通过杂交，使基因重新组合，可以将不同生物的优良性状组合起来。但是，杂交后代会出现性状分离现象，育种过程繁杂而缓慢，效率低，亲本的选择一般限制在同种生物范围之内。

人工诱变的方法应用在育种上，大大提高育种的效率和选择范围。但是，基因突变的不定向性，导致诱变育种的盲目性。

基因工程可以实现基因在不同种生物之间的转移，迅速培育出前所未有的生物新品种，在医药卫生、农牧业、环境保护等领域有着广泛的应用。

基因工程在给人类的生产和生活带来益处的同时，也使人们产生关于转基因生物的安全性等方面的担忧。

从选择育种到基因工程的发展历程说明，生产实践产生对科技发展的需求，科学理论上的突破必然会带来技术上的进步，推动生产水平的提高和人类文明的发展。



# 自我检测

## 一、概念检测

### 连线题

1. 基因工程中剪切基因的工具
2. 人工诱变常用的处理手段
3. 基因工程中拼接基因的工具
4. 杂交育种利用
5. 搬运目的基因的运载工具
6. 大量表达目的基因常用的手段

- A. 细菌在发酵罐内发酵
- B. 限制酶
- C. 辐射
- D. 基因的自由组合原理
- E. DNA 连接酶
- F. 细菌质粒或噬菌体

### 判断题

1. 将两匹奔跑速度快、耐力持久的种马交配，所生小马一定能继承“双亲”的特征，不仅跑得快，而且耐力持久。 ( )
2. 选择育种是一种古老的育种方法，它的局限性在于进展缓慢，可选择的范围有限。 ( )
3. 人工诱变是创造动植物新品种和微生物新类型的重要方法，它突出的优点是可以提高突变率，加速育种工作的进程。 ( )
4. 对于基因工程或分子生物学实验室向外排放转基因细菌等必须严加管制。 ( )

### 画概念图

画出基因工程操作的常规方法流程图。

## 二、知识迁移

列举生产实践中用杂交育种、诱变育种和基因工程育种改良农作物或畜禽品种的实例。有条件的話，请调查这些育种方法的经济效益或增产效果。

## 三、技能应用

仔细观察下面这幅卡通图。运用你学过的基因工程的知识，分析并评价这幅图的寓意。



## 四、思维拓展

既然基因工程与传统的杂交育种和诱变育种相比有许多优势，为什么现在仍有许多人搞杂交育种和诱变育种的研究呢？