

# 第十一章 诱变育种

第一节 诱变育种的依据、特点和意义

第二节 物理诱变

第三节 化学诱变

第四节 诱变育种的方法和程序

- 诱变育种 (**induced mutation breeding**) 是利用理化因素诱发生物体发生变异，再通过选择培育成新品种的方法。
- 诱变育种始于**1927**年，**Muller**和**Stadler**先后报道了射线能导致生物发生突变。**1942**年德国的**Freisieben**和**Lein**首先利用诱变的方法在大麦抗白粉病育种中取得突破。**40**年代后期进入原子时代，原子能的和平利用推动了诱变育种的发展，在美国、意大利、法国、前苏联、荷兰和日本先后建立了 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线或中子的核研究中心，推动了发展中国家的研究工作，特别是在亚洲育成和推广了一些水稻新品种。

## 诱变育种成就

- 日本诱变成功超级矮秆早熟水稻品种“黎明”；法国则诱变成功少粉行道树优良品种“无粉法国梧桐”，大大降低了游人的花粉过敏综合症。澳大利亚则育成不含多种异黄酮配糖体的三叶草品种，使食草类牲畜的繁殖率大大提高。
- 据统计，近年来我国利用诱变或诱变与其他方法相结合，育成了水稻、小麦、棉花、玉米、谷子、大豆、蔬菜、油菜、绿肥等作物新品种近百个。其中**42**个已推广**5000**万亩。



# 第一节 诱变育种的依据、 特点和意义

- 一、诱变育种的依据
- 育种工作者之所以能育成新品种，主要利用了作物在生长和繁殖过程中能发生变异，无论是自然条件下产生的自然变异，还是人工诱导下产生的人工变异，只要是有益的且可以遗传，就能通过选择培育成新品种。

变异的产生，归根结底是遗传物质的改变。由于自然的原因或人工诱变的原因，只要提供一定的理化因素，都可以使DNA发生结构变化（包括染色体畸变，错位及碱基序列改变），从而导致基因的变异，在其他育种手段中，有时与诱变育种结合，能起到意想不到的作用。如辐射育种可用于诱发雄性不育株产生。从而为杂优育种提供服务。



## 二、诱变育种的特点

- (一) 增加变异率，扩大变异谱 在自然界虽然也会产生自发的突变，但频率极低，如仅靠等待这些“自然的恩赐”是完全不能满足人类需要的。研究指出，人工诱变可使突变频率增加1,000倍左右。不仅突变的频率增加，而且变异谱同时也有了很大的差异，并可将数量性状推向更高的水平。杂交基本上是原有基因的重组，从本质上说并无“创造性”可言，而诱变则可诱发自然界本来没有的全新类型，这样便可迅速丰富作物的“基因库”，从而扩大了选择范围，并提高了选择效果。

**（二）最适于进行“品种修缮”** 在正确选择亲本和剂量等条件下，人工诱变有产生某种“点突变”的特点，它可以只改变品种的某一缺点，而不致损害或改变该品种的其他优良性状。而当进行杂交时，除了得到所希望的性状以外，同时有些不良性状也伴随而来。因此诱变育种适于用来进行“品种修缮”（**cultivar improvement**）工作，尤其是在加速育成抗病性品种方面有特殊的价值。这是因为要获得抗病品种，常需要有个具有优良综合经济性状的品种与具有抗病基因的野生类型杂交，但其杂种后代必然分离，而且往往使某些经济性状变劣，采用多次回交进行改进。

- **（三）打破旧连锁及进行染色体片断的移置**      当品种的某一优良性状和不良性状呈紧密连锁时，对育种工作很不利，很难使其分离，而今可用电离辐射，使染色体断裂，把紧靠在一起的两个连锁基因拆开，通过染色体交换，使之达成新的结合，这是辐射育种一个出色功能。



### 三、诱变育种的意义

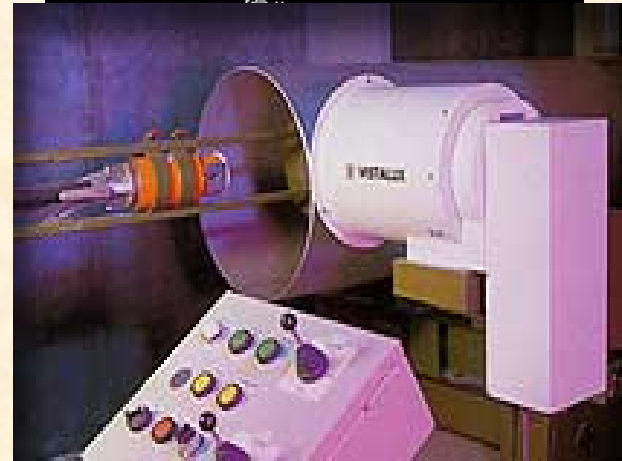
- **（一）创造新的雄性不育源** 有些作物自然产生雄性不育的发生率极低，不易被人类发现，而诱变产生不育的比例能提高三十多倍，极易被选出利用。从而使一些不易进行杂优育种的作物变为可能。
- **（二）克服远缘杂交不亲和性及改变植物的授粉、受精习性** 电离射线照射花粉可以克服某些远缘杂交的不亲和性，国内外均有不少研究报告，西北农学院在桃×杏以及番茄×葡萄的远缘杂交中，曾用 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线照射花粉取得了一定的效果。电离辐射还可使异花授粉植物的自交不亲和变为自交亲和，反之辐射也可使正常可育的植物诱变成雄性不育系，以改进杂种种子的生产。

**(三) 其他独特用途** 例如促进孤雌生殖，以加速获得纯系或用以固定杂种优势；诱发染色体结构变异，以获得无籽果实新类型（例如日本用染色体易位法创造无籽西瓜）；诱发染色体易位发生“平衡致死”（**balanced lethal**）效应，以获得“稳定的”杂种；诱发非整倍性的染色体数目变异，以获得单体、缺体、三体等对遗传育种研究具有特殊用途的整套宝贵材料；诱发体细胞突变，以创造果树及无性繁殖作物的新品种等。

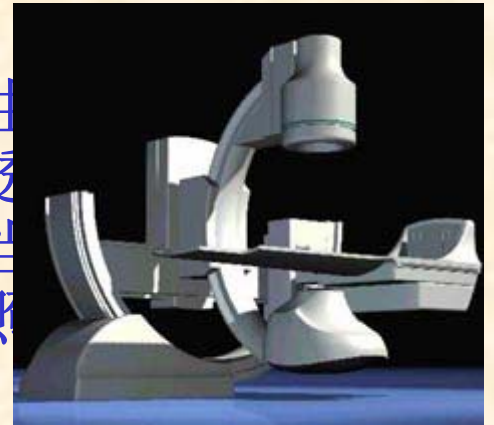
# 第二节 物理诱变

## 一、物理诱变剂的种类

- **x 射线** 是一种波长为  $1000 \sim 100\text{\AA}$  (即  $10^{-10} \sim 10^{-5}\text{cm}$ ),
- **$\gamma$  射线** 是一种波长更短的电离辐射线,  $^{60}\text{Co}$  和  $^{137}\text{Cs}$ , 是目前应用最广的  $\gamma$  放射源。



- **中子**是不带电的粒子。实践证明，中子照射的有益突变率较高。
- **紫外线**是波长为 $2000\sim 2900\text{\AA}$ 的非电离辐射线。其能量较低，穿透力不够，多用于照射花粉或微生物。育种上应用的波长 $2500\sim 2900\text{\AA}$ ，以低压石英水银灯发出的紫外线照射效果较好。虽然紫外线穿透力较弱，但易被核酸吸收，能产生较强变异效果。
- **$\beta$ 射线**是电子或正电子的射线束，由 $^{32}\text{P}$ 或 $^{35}\text{S}$ 等放射性同位素直接发生的，透过植物组织能力弱，但电离密度大。当同位素溶液进入组织和细胞后作为内照射而产生诱变作用。





## 二、辐射处理的剂量单位和剂量率

- **（一）强度** 放射性强度以毫居里（**mCi**）或微居里（**μ Ci**）表示，分别相当于 **$10^{-3}\text{Ci}$** 和 **$10^{-8}\text{Ci}$** 。现在为了统一标准，便于国际上互相比对，采用了新的照射剂量单位。但是迄今发表的试验报告仍习用于一般常用的剂量单位。新的照射单位为贝可（**Bq**，**Becquerel**），即 **$1\text{Bq}/\text{sec} \approx 2.703 \times 10^{-11}\text{Ci}$** 。

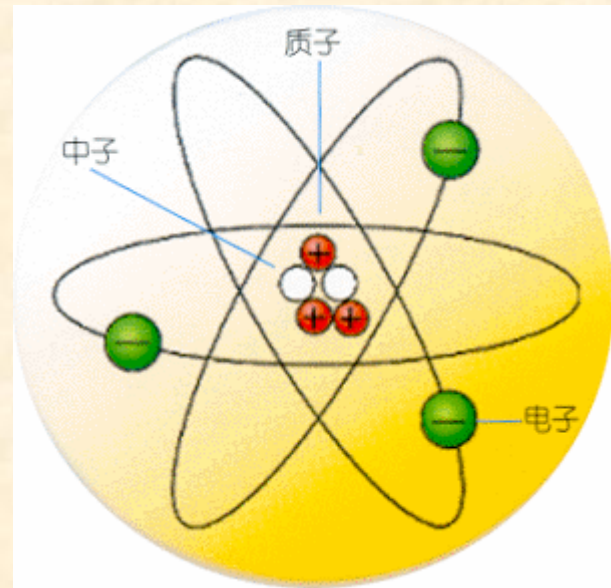


- **(二) 剂量强度** 是指受照射的物质每单位质量所吸收的能量，即物质所吸收的能量/物质的质量 (**erg/g**)。照射的剂量单位有：
  - **1. 照射剂量以伦** (即伦琴, **R**) 表示, 是  $\alpha$  和  $\gamma$  射线的剂量单位, 新的照射剂量单位为1库伦 (**Coulomb**) /千克 (**kg**), 相当于 $3.876 \times 10^3 R$ 。
  - **2. 吸收剂量** 以拉特 (**Rad**) 表示, 即组织伦琴。新的吸收剂量单位为戈瑞 (**Gray**), 相当于1焦耳 (**Joule, J**) /千克或**100Rad**。

- 3. **中子流量** 以单位平方厘米的中子数 ( $\text{n/cm}^2$ ) 表示。中子的单位也可用 **Rad** 来表示。
- **(三) 剂量率** 在照射处理时，处理材料在单位时间内所受到的剂量过大，可以显著影响幼苗成活率和生长速度。所以用剂量率 (**dose rate**) 作为单位来衡量，即单位时间内所吸收的剂量。一般情况下突变与剂量率关系不是很大。通常干种子的剂量率为 **60—100R/min**，花粉为 **10 R/min** 左右，剂量率不应超过 **160R/min**。

# 三、辐射诱变的机理

- **（一）物理作用阶段** 生物有机体内的遗传物质某分子部位受到不同能量辐射后，可能产生不同的核物理效应。“光电效应”和“康普顿—吴有训效应”。而当受到的辐射能量足以使该电子脱离原子核吸引，则会导致“离子对生成”。这些变化均是在物理状态下进行的。



- **（二）化学反应阶段** 当被照射后的遗传物质分子失去电子或得到电子后，则形成“离子对”及“自由基”，其活跃程度大大增强，带不同电荷的基团极有可能发生分解或聚合反应，从而导致新的化学成分产生。
- **（三）生物学阶段** 当遗传物质本身受到辐射后，电离和分子重组的结果可能导致DNA断裂、交换、畸变，直接影响了DNA复制或碱基序列改变，从而导致遗传上的变异，人们往往称这种效应为“**直接效应**”。

有时这种电离现象和离子对形成不是直接发生于DNA分子上，而是与之相邻的分子或水分子，从而产生具有强氧化或还原能力的基团（如HO、O、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、H等）。这些基团进一步作用于遗传物质，引发DNA的各种异常，人们常称这种效应叫“间接效应”。



- 从上述三个可能发生的阶段来看，化学变化及生物学变化的发生并非必然的。
- 当受辐射部位得到的能量较小时，可能只发生物理作用阶段，而不导致生物学变化，这就说明了为什么正常的日光照射并不能诱发生物产生变异，也是生物稳定遗传的基本保障。

## 四、植物的辐射敏感性和诱变剂量

- (一) 测定辐射敏感性的指标
- 植物对辐射的敏感性是指植物体对电离辐射作用的敏感程度。用以衡量敏感性的指标，因植物种类、照射方法及研究目的不同而不同。最常用的指标有：出苗率、存活率、生长受抑制程度、结实率、细胞状态、染色体畸变率等。

- (二) 植物辐射的敏感性差异
- 1. 不同植物辐射敏感性不同
- 一般来说，植物之间在分类上的差异越大，敏感性差异也越大，如不同科间差异很大。豆科植物最敏感，禾本科次之而十字花科植物则最不敏感。科内属间的敏感性也有差异，以豆科为例：种子粒大的属比粒小的属要敏感。不同科、属、种间敏感性的差异主要来自遗传物质的不同和生理生化特性的差异。通常是染色体大的，DNA含量高的植物辐射敏感性高。十字花科作物不敏感，主要是种子内含有对辐射有屏障作用的丙烯芥子油造成的。

## 2. 不同品种类型的敏感性 也有一定差异

这种差异比科、属、种间差异要小。作物的耐辐射（不敏感）程度依次为：

杂交种>常规品种>自交系。

### 3. 同种作物的不同发育期对辐射敏感性有差异

休眠种子和枝条不敏感，而萌动种子和发育中的枝条则敏感。分化成的细胞不敏感，而正在分生中的细胞则敏感。在种子发育过程中，乳熟期最敏感，蜡熟期次之，完熟期则不敏感。



## 4. 不同组织和器官 敏感性有差异

如洋葱正在生长的根最敏感，休眠鳞茎次之，干种子胚最差，这种差别与植物体内的含水量有较大关系。



## （三）植物的诱变剂量

- 确定合适的诱变剂量是育种成败的关键环节。不同作物都有一定范围的适宜剂量，在适宜剂量范围内，能更多的产生新的变异，保持原有的优良性状。在育种实践中，一方面参考前人的育种经验，一方面通过试验摸索。常用临界致死剂量（被照射生物体存活率为40%的剂量）或半致死剂量（被照射生物体存活率为50%的剂量）。

种 类	处 理 材 料	常 用 剂 量	
		x 和 γ 线 (仑)	中子流 (n/cm <sup>2</sup> )
甘蓝	干种子	10万左右	
芥菜	干种子	10万左右	
茼青	干种子	10万左右	
冬萝卜	干种子	10万左右	
四季萝卜	干种子	10万左右	
大白菜	干种子	8—10万左右	
花椰菜	干种子	8万左右	

种 类	处 理 材 料	常 用 剂 量	
		x 和 γ 线 (仑)	中子流
甜菜	干种子	5万 (n/cm <sup>2</sup> )	
番茄	干种子	2.5—5万	
甜椒	干种子	2—4万	
茄子	干种子	5—8万	
甜瓜	干种子	4—6万	
黄瓜	干种子	5—8万	
西瓜	干种子	2—5万	
芹菜	干种子	6—7万	
菜豆	干种子	1—2.5万	
豌豆	干种子	0.5—2.5万	
大豆 (毛	干种子	1—1.5万	

种 类	处 理 材 料	常 用 剂 量	
		x 和 γ 线 (仑)	中子流
蚕豆	干种子	$1^{(n/cm^2)}$ —2万	
甜玉米	干种子	2万左右	
菠菜	干种子	2万左右	
时萝菜	干种子	1—2万	
圆葱	干种子	4—5万	
	鳞 茎	0.06—0.08	万
大蒜	鳞 茎	0.06—0.08	万
马铃薯	块 茎	0.2—0.5	万



## 五、辐射处理的主要方法

- （一）外照射 辐射源在被处理材料外部的照射称为外照射（**external irradiation**）。此种照射方法常需要有射线发生的专门装置（如X光机、原子能反应堆、电子加速器、紫外灯、钴照射源等），并需专门的处理场所和保护设施。

- **1. 种子照射** 这是最为常用的照射方法。可用于干种子、湿种子或萌动种子处理，一次可照射大量试材。
- **2. 植株照射** 当植株生长发育到一定阶段后，移栽到设有照射装置的场所（如钴植物园）进行处理，一般采用盆栽较为方便。



### 3. 营养器官照射

- 此法多用于适于无性繁殖的植物作为播种、扦插、嫁接材料的处理。如蔬菜作物中的马铃薯块茎、洋葱鳞茎、山药块根；果树作物的嫁接穗、观赏作物的地下球等。



- **4. 花粉子房照射**

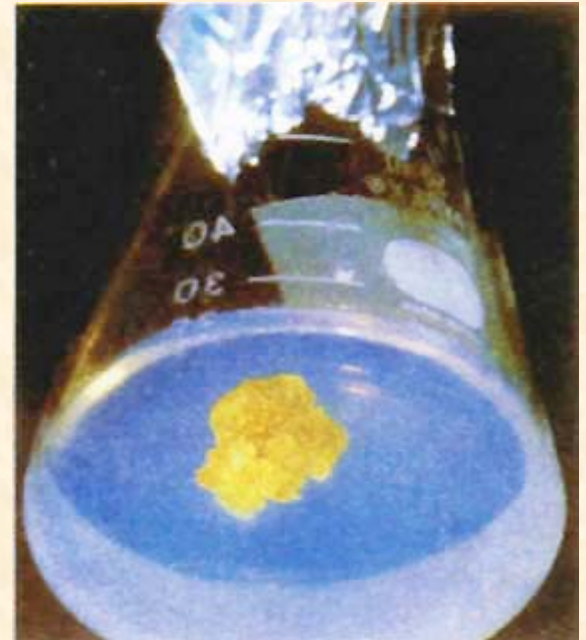
- 花粉照射后，授以特定花柱产生杂合后代，并对后代进行多代自交分离，选择出符合要求的变异类型。同理也可进行雌性器官的子房照射。但应区别子房先照射后授粉，还是先授粉后照射。





## 5. 其他植物器官组织的照射

- 用于植物离体培养的试材在接种培养前进行辐射处理（如幼叶、胚状体、愈伤组织、胚、原生质等），再进行离体培养得到突变再生株。



## （二）内照射

将辐射源引入到试材内部的照射叫内照射（**internal irradiation**）。这种照射方法的优点是不需建造成本很高的设施，但不足是需要防护条件，易造成环境污染，处理剂量不易掌握，受一定限制。



# 1. 浸种法

将放射性同位素配制成一定放射强度的溶液进行浸种处理，使试剂浸入种子内部。实践中通常先用等量试材进行吸水试验，测出种子吸胀后所需水量，再决定配制的溶液用量，一般剂量范围是 $0.1 \sim 10 \mu\text{C}$ （微居里）/每粒种子。

## 2. 涂抹法

将放射性同位素溶于粘性剂中（如羊毛脂、凡士林、琼脂等），取适量涂抹于处理部位（如生长点、腋芽、花蕾、芽眼等处）



图 I-39 杨树枝上的芽

## 3. 注射法

- 用微量注射器将适宜浓度的试剂溶液注入处理部位进行诱变，多用于花蕾、芽、块茎、鳞茎等试材的处理。



## 4. 施入法

将放射同位素的化合物以无机肥（如 $^{32}\text{P}$ 、 $^{35}\text{S}$ 、 $^{45}\text{Ca}$ 的化合物磷酸二氢钾、硫酸铵、硝酸钙等），通过作物根部施肥引入植株体内进行处理或将 $^{14}\text{C}$ 的化合物 $^{14}\text{CO}_2$ 进行光合部位的施喂，通过光合作用引入植株体内，达到诱变的目的。

### (三) 间接照射

利用辐射存在间接诱变的原理，对试材的培养环境（如培养基、培养液）进行辐射，使培养基或培养液中的水分子发生电离，产生强活性基因（ $\text{HO}$ 、 $\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{H}$ 等），再将试材引入进行培养。此法在微生物诱变育种中应用效果更佳。

## 第三节 化学诱变

- 一、化学诱变剂的种类
- 能与生物体的遗传物质发生作用，并能改变其结构，使其后代产生变异的化学物质称为化学诱变剂（**chemical mutagen**）。育种实践中发现，能引起生物体遗传物质产生变异的化学物质甚多，从简单的无机物到复杂的高分子有机物均发现众多能产生诱变作用的试剂。归纳起来主要有以下几大类：



## (一) 烷化剂类

这类试剂的共同特点是携带一至多个活跃的**烷基**，通过“**烷化作用**”的方式将**DNA**或**RNA**分子结构中的**H**原子置换，从而导致“复制”或“转录”过程中“遗传密码”的改变，进而发生变异。这类试剂主要包括：

诱 变 剂	温 度		
	20 °C	30 °C	37 °C
硫芥子气			约3分
甲基磺酸甲酯 (MMS)	68h	20h	9.1h
乙基磺酸甲酯 (EMS)	93h	26h	10.4h
甲基磺酸丙酯 (PMS)	111h	37h	
甲基磺酸异丙酯 (iSO-PMS)	108h	35h	13.6h
甲基磺酸丁酯 (BMS)	105h	33h	
硫酸二乙酯 (DES)	3.34h	1h	
3-氯-1, 2-环氧丙烷			36.3h
N-亚硝基-N-甲基尿烷 (NMU)		35h	
N-亚硝基-N-乙基尿烷 (NEU)		84h	
N-亚硝基-N-丙基尿烷		103h	

烷化剂 名称	理化性质					浓度 范围	保存 方法
	常温状态	水溶性	密度	分子量	熔点或沸点		
甲基磺 酸乙酯 (EMS)	无色液体	约8%	1.203	124	沸点： 85-86°C/10mm汞柱	0.3- 1.5%	室 温、 避光
次乙亚 胺 (EI)	无色液体	易溶	0.832	43	沸点： 56°C/760mm汞柱	0.05- 0.15%	密闭、 低温 避光
硫酸二 乙酯 (DES)	无色液体	不溶	1.18	154	沸点： 208°C	0.1- 0.6%	室 温、 避光
亚硝基 乙基脒 (NEH)	黄色固体	微溶		117	熔点： 98-100°C	0.01- 0.05%	冰箱 干燥

## (二) 核酸碱基类似物

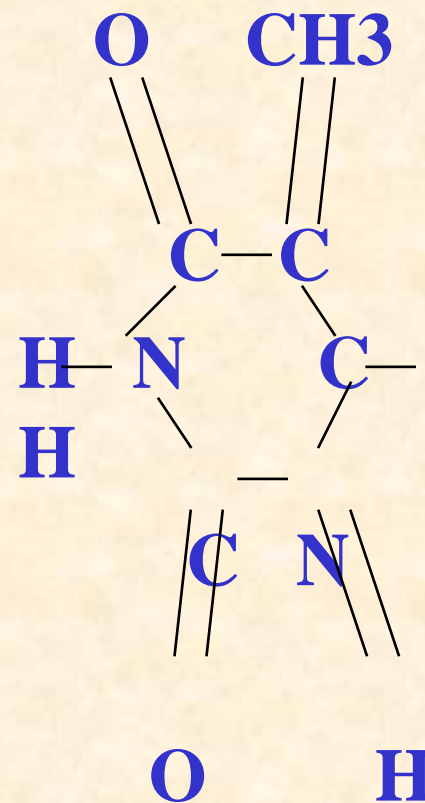
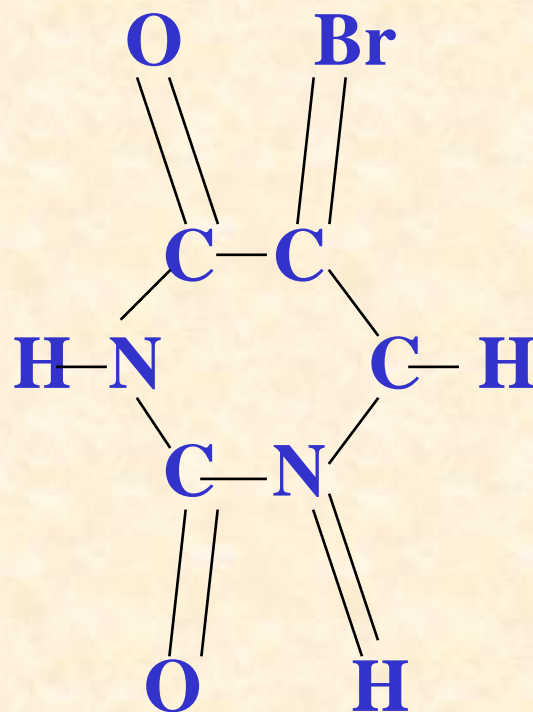
碱基类似物的诱变机理与其它化学物质迥然不同。它们主要因化学结构上与DNA碱基（A、G、C、T）中的基一种相似，在DNA复制的正常过程中以“原料”的身份“冒名顶替”进入DNA结构中充当碱基，从而形成异种DNA，进而导致碱基配对的差错，引起点突变，其产生的生物学效应与辐射诱变相似，故这类化学试剂又称为“拟辐射物质”。

5- 溴 尿 嘧 啶  
(5-Bu)

5- 氟 尿 嘧 啶

5- 溴 脱 氧 尿 嘧  
啶 核 苷

(5-BudR)



(5-Bu)

胸 腺 嘧 啶  
(T)



### (三) 简单有机化合物

- 常见的有：乙酸、甲醛、乳酸、氨基甲酸乙酯、重氮甲烷等。
- 据报道，这类有机化合物对不同生物个体、组织或细胞有一定专一性（或选择性），有人在果蝇上诱变表明，甲醛能引起早期精母细胞产生突变，但在雌蝇上却没有作用

## （四）简单的无机化合物

- 常见的有氨、双氧水、硫酸铜、氯化锰、亚硝酸等。
- 从诱变效果来看，亚硝酸更为有效，其强烈的“脱氨作用”可脱去A、C及G等碱基上的氨基，使其发生结构变化，从而造成DNA复制的紊乱。

## (五) 抗生素

- 如：链霉黑素、丝裂霉素C和重氮丝氨酸等。
- 抗生素类的主要诱变机理是抗生素对DNA核酸酶的破坏作用，影响了DNA合成及分解的有序性，进而造成染色体断裂。

## (六) 生物碱

- 一些中草药及观赏植物的种子或组织中也发现一些诱变物质，常见的有秋水仙碱、高级酚类、石蒜碱、喜树碱、长春碱等。
- 生物碱诱变作用主要通过影响细胞有丝分裂过程，阻止纺锤丝和赤道板形成，使细胞分裂中期异常停止，抑制rRNA合成及导致染色体畸变等。

## 二、化学诱变剂作用的特点

- 1. 能诱发更多的基因点突变。
- 2. 诱变有一定专一性：某些试剂只能在某种作物、某个生长发育时期、某些DNA片段，甚至某种碱基位点上才起诱变作用。
- 3. 使用方便，成本较低。
- 4. 诱变剂只有渗透到植物组织内部才能起作用。对一些组织致密，有鳞片和茸毛包裹、高度蜡质化、角质化的器官效果不理想。



## (一) 药剂配制

- **溶解性:** 由于各种诱变剂的理化性质不同, 使用浓度范围不同, 配制溶液时应区别对待。易溶于水者可直接按所需浓度稀释配制, 而不易溶于水者 (如硫酸二乙酯等) 一般应先用少量酒精溶解后加水配制成所需浓度。
- **适宜pH:** 许多试剂的水溶液极不稳定, 易产生水解生成酸性或碱性物质而变性。因此, 选用适宜pH的磷酸缓冲液是确保诱变效果的重要条件。

## (二) 常见处理方法

- 因作物种类不同，处理时期不同，处理部位不同，选取器官不同等应选用合适的处理方法，一般有以下几种：

- **1. 浸渍法** 先按浓度要求配制成溶液，然后将试材浸渍于溶液中，经一定时间处理后，用清水冲洗。此法常用于**种子、接穗、插条、块茎、块根**等试材的处理。也可用于幼苗浸根。
- **2. 注入法** 将试剂配制好后，用微量注射器将药液注入处理部位，常用于**生长点、腋芽、鳞茎及其它有机机械组织包裹的部位**处理。

- **3. 涂抹法和滴液法**

- 将试剂溶于羊毛脂、凡士林、琼脂等粘性物质中，取适量涂于试材处理部位，或将脱脂棉球放于处理部位后，用滴管定期滴加药液。此法多用于**生长点、芽根、腋芽**等试材处理。

- **4. 熏蒸法** 先制做一密闭潮湿的小室，放入待处理试材，通入药剂产生的蒸气进行处理，常用于**花粉、花药、子房、花序、幼苗、**等试材的处理。选用的试剂一般是沸点较低的液体或易升华的固体，或用专门装置发生气态诱变剂（如芥子气类）。
- **5. 施入法** 选用合适剂量，通过培养基加入法或在相对隔绝的栽培环境中，以施肥方式施于**植株根部**。





## 第四节 诱变育种的方法和程序

- 一、处理材料的选择
- （一）材料的选择
- 正确地选择诱变处理的亲本材料是很重要的，决不可认为信手取来任何材料，经诱变处理后都可得到理想的结果。诱变材料的选择是诱变育种是否获得成功的关键环节，对此应考虑以下原则：

- 1. 首先必须根据育种目标来选择亲本材料，
- 为了实现不同的育种目标，应选用不同特点的亲本材料进行诱变处理，例如为了选育抗病毒病（TMV）的番茄优良品种，则亲本材料应该是丰产、优质、成熟期适宜，并能抵抗除病毒以外的其他主要病害的品种，否则便不易达到预期的育种目的。

- 2. 亲本材料必须是综合性状优良而只具有一、二个需要改进的缺点，
- 因为诱变育种的主要特点之一是它最适于改善某一品种的个别不利特性（即产生单个基因的突变）。为此通常可选用当地生产上推广的良种或育种中的高世代品系作诱变材料。此外也有人主张可选用具有强优势的、综合性优良的杂交一代（ $F_1$ ）或有希望的杂种后代作诱变材料。

- 3. 为了增加诱变育种成功的机会，选用的处理材料应避免单一化。
- 因为不同的品种或类型，其内在的遗传基础存在着差异，它们对辐射的敏感性不同，因而诱变产生的突变频率、突变类型、优良变异出现的机会和优良程度也有很大差别，故应在人力、土地等条件许可下，适当多选几个亲本材料为好。

- **4. 适当选用单倍体、原生质体和多倍体等作诱变材料**

- 用单倍体作诱变材料，发生突变后易于识别和选择。突变一经选出，将染色体加倍后即可使突变固定和纯化，故可显著缩短育种年限。
- 此外也可用单细胞或原生质体作诱变材料，与细胞培养相结合，以避免正常细胞与突变细胞的竞争，从而提高突变育种的效果。多倍体提高了忍受染色体畸变的能力，减少了突变体的死亡率，使突变体的后代获得较多的变异，故也可选用多倍体品种作材料。

## （二）处理部位的选择

- 处理部位的选择应有利于物理或化学诱变剂最大限度地发挥诱变作用。一般来说，应选择敏感性强的部位：芽、生长点、花粉、花药、子房、分生组织等。



## 二、诱变剂量的确定

- 一般参考过去研究者的结果，并在温室内采用  $x$  或  $\gamma$  射线等低密度射线的几种剂量来测定幼苗高度，以降低**30%~50%**苗高为较适宜的剂量；至于高密度电离辐射的中子，则只要降低**15%~30%**的苗高，化学诱变剂要求降低**10%~30%**的苗高为适宜剂量。

### 三、处理群体大小的确定

- 一般是根据突变率和 $M_2$ 群体大小来确定处理试材群体大小。像蔬菜等小粒作物，群体应在10000株以上。
- 要求 $M_2$ 获得特定的有益性状突变体，其频率是很低的，可能只有万分之一。如果以半致死剂量（**half lethal dosage,  $LD_{50}$** ）为准，则处理5000粒种子，可得到2500存活（ $M_1$ ）株。如果每株产生20粒种子，则第二代（ $M_2$ ）有5万株可加以选择。

## 四、诱变处理后代的选择

- (一)  $M_1$ 的种植和选择
- 以种子为试材的诱变处理为例，将诱变处理的种子，按不同的剂量分别播种称为 $M_1$ ，由于突变多属隐性，可遗传的变异在 $M_1$ 通常并不显现， $M_1$ 所表现的变异，多系高能射线所造成的生理变异（特别是生理损伤和畸形），这些变异不论优劣，一般并不遗传，因此 $M_1$ 不必进行选择淘汰，而应全部留种。对 $M_1$ 植株并应实行隔离，使其自花授粉，以免有利突变因杂交而混杂。

## (二) $M_2$ 的种植和选择

- 根据 $M_1$ 代的收获方式相应种植成 $M_2$ 代。由于照射种子所得的 $M_1$ 常为“嵌合体”，故对 $M_1$ 最好能分穗或分果实分别采收种子，然后每穗（果）分别播种成一个小区称为“穗系区”，以利于以后计算变异频率并易于发现各种不同的变异。由此可见， $M_2$ 的工作量是辐射育种中最大的一代，为了获得有利突变，通常 $M_2$ 要有几万个植株，每一 $M_1$ 个体的后代（ $M_2$ ）种植20~50株。

因为隐性突变经一代自交至 $M_2$ 便可显现出来，故对 $M_2$ 的每一个植株都要仔细观察鉴定，并且标出全部不正常的植株，对于发生了变异的穗行（每行有1~5株发生突变）则从其中选出有经济价值的突变株留种。

### (三) $M_3$ 及以后各世代的种植和选择

- 将  $M_2$  中各变异株分株采种，分别播种一个小区，称为株系区，以进一步分离和选择，一般在  $M_3$  就可确定是否真正发生了突变，且该突变能否遗传。同时也可确定分离的数目和比例。在  $M_3$  中鉴定淘汰不良的“株系”，在优良的“株系”中再选出最优良的单株。
- 将优良  $M_3$  株系中的优良单株分株播种成为  $M_4$ ，在其中进一步选择优良的“株系”，如果该“株系”内各植株的性状表现相当一致，便可将该系的优良单株混合播种为一个小区，进行品系比较试验，最后选出优良品种。品系比较试验、生产示范试验和区域试验等方法与杂交育种相同。



## 五、以营养器官（接穗、插条、薯块等）为试材的种植与选择处理

- 由于同一营养器官（如枝条、薯块、块根、鳞茎等）的不同芽子，对诱变的敏感性及反应不同，可能产生不同的变异，故诱变后同一枝条上的芽子要分别编号，分别繁殖，以后分别观察其变异的情况，如果发现了有利突变，便可用无性繁殖使之固定成为新品种。

# 思考题

- 1. 诱变育种的特点和意义有哪些？
- 2. 植物辐射的敏感性差异表现在哪些方面？
- 3. 辐射诱变射线种类有哪些？
- 4. 植物诱变处理的一般程序是怎样的？
- (论述题)
- 5. 辐射处理的主要方法有哪些？
- 6. 名词: 诱变育种 ; 临界致死剂量 ; 半致死剂量 ;