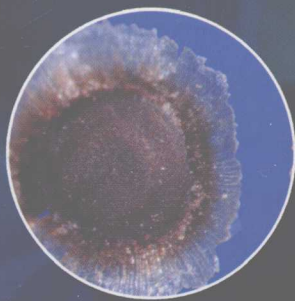
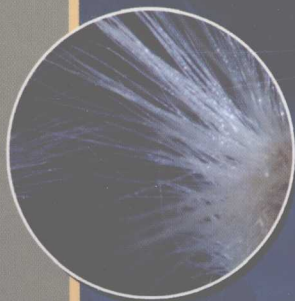


# 种子生物学

宋松泉 程红焱 姜孝成 等 编著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 种子生物学

宋松泉 程红焱 姜孝成 等 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书在广泛收集国内外大量文献的基础上,结合作者们多年来的研究工作,比较全面而系统地介绍了种子生物学的研究成果和近期进展。内容包括种子的形态结构和组成、种子的发育和成熟、种子的萌发、种子贮藏物的动员及其调控、种子的休眠及其控制、种子的生命力与寿命、顽拗性种子和种子生态。

本书可供从事种子科学与技术、植物种质资源保育、农业、林业和园艺工作的科研人员参考,也可作为综合性大学、农林和师范院校相关专业师生的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

种子生物学/宋松泉等编著. —北京:科学出版社,2008  
ISBN 978-7-03-020627-5

I. 种… II. 宋… III. 种子-生物学 IV. Q945.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 077069 号

责任编辑:霍春雁/责任校对:钟 洋  
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2008年8月第一次印刷 印张:28 1/4

印数:1—1 500 字数:649 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

## 序

种子是农、林业和园艺生产中最基本的生产资料，直接影响播种品质和产量；在某种意义上，农业生产的主要目的就是提高种子的产量和质量。种子也是植物种质资源长期保存的理想材料，而种质资源的保存是农业品种改良的前提。种子中丰富的贮藏物，如淀粉、脂类和蛋白质是人类和动物的重要食物来源，也是主要的工业原料来源。例如，利用种子贮藏物中的淀粉和油脂可生产燃料乙醇和生物柴油，以缓解世界石油资源枯竭的能源问题，以及石油资源的开采和利用造成的全球气候变暖、酸雨等严重的环境问题。此外，部分植物种子还可以直接作为药材，或者从中提取活性成分和先导性化合物用于医药、卫生和保健。

种子是植物个体发育的一个特定阶段，起始于受精卵的分裂，终止于成熟脱水。被子植物的种子发育可以分为组织分化、成熟和脱水三个阶段。在组织分化过程中，单细胞合子经历广泛的细胞分裂和分化，形成由胚轴和子叶构成的幼胚，同时形成三倍体的胚乳。成熟期的主要特征是细胞扩大和贮藏组织中贮藏物（蛋白质、脂肪或者淀粉）的积累。成熟过程通常被一定程度的脱水终止。当水分丧失时，种子的代谢活性降低，胚进入代谢不活跃或者静止状态。当成熟干燥（非休眠）种子吸胀时，预存的代谢系统重新活化并合成新的细胞组分，导致细胞伸长（胚根的伸长）和细胞分裂的恢复。种子可以单独进行整个“生活史”，即从种子成熟开始经历生活力的逐渐下降、衰老以至死亡。在种族延续上，种子既是遗传信息的保存者与传递者，也是植物在环境胁迫中保证物种繁衍的适应性策略。

《种子生物学》的作者们是多年来一直从事种子生物学研究与教学的中、青年科技人员。他们在广泛收集和整理国内外大量文献的基础上，结合多年来的研究工作，比较全面而系统地介绍了种子生物学的研究成果和近期进展。内容包括种子的形态结构和组成，种子的发育和成熟，种子的萌发，种子贮藏物的动员及其调控，种子的休眠及其控制，种子的生命力与寿命，顽拗性种子和种子生态。可以相信，该书的面世对于提高我国种子生物学的研究与教学水平，长期保存植物种质资源，特别是珍稀濒危植物资源和逆境植物资源，保障国家的植物资源安全，实现可持续发展都具有一定的理论和实践指导意义。

匡廷云

中国科学院植物研究所  
2006年8月31日于中关村

## 前 言

种子是种子植物的繁殖器官，通常由胚、胚乳和种皮组成，它们分别由合子（受精卵）、初生胚乳核（受精极核）和珠被发育而成。种子的形成、发育、成熟脱水、静止（休眠）至萌发，是植物个体发育的一个特定阶段；在种族延续上，种子既是植物遗传信息的保存者与传递者，也是植物在环境胁迫中保证物种繁衍的适应性策略。种子可以单独进行整个“生活史”，即从种子成熟开始经历生活力的逐渐下降、衰老以至死亡。种子中的胚是植物体的雏形，是农、林业和园艺生产中最基本的生产资料，也是植物种质资源长期保存的理想材料。种子中丰富的贮藏物，如淀粉、脂类和蛋白质等是人类和动物的重要食物来源，在一定意义上人们栽培作物的目的就是要获得高产、优质的植物种子。

Roberts (1973) 根据种子的贮藏行为将种子分为正常性种子 (orthodox seed) 和顽拗性种子 (recalcitrant seed)。正常性种子在母体植株上经历成熟脱水，种子脱落时含水量较低，通常能被进一步干燥到 1%~5% 的含水量而不发生伤害；并且根据贮藏条件能够预测其寿命。顽拗性种子不经历成熟脱水，种子脱落时含水量相对较高，在整个发育过程中不耐脱水，通常对低温敏感；在 25℃ 和通风的条件下贮藏，其贮藏寿命通常只有几天到几个星期。Ellis 等 (1990a) 定义了第三种类型的种子，它们表现出中间性贮藏行为 (intermediate storage behavior)，在相对低的含水量下能够存活，但不能忍受像正常性种子那样的水分丧失；如果是热带起源，即使在脱水状态下也可能对低温敏感。在种子生物学的研究中，种子脱水反应类型的区分是制定种子研究和贮藏策略的关键，而种子的发育特性又是种子脱水行为和贮藏行为的物质基础。

本书在广泛收集国内外大量文献的基础上，结合作者们多年来的研究工作，比较全面而系统地介绍了种子生物学的研究成果和近期进展。内容包括种子的形态结构和组成，种子的发育和成熟，种子的萌发，种子贮藏物的动员及其调控，种子的休眠及其控制，种子的生命力与寿命，顽拗性种子和种子生态。

本书的第一章由程红焱（中国科学院植物研究所）和邓志军（中国科学院西双版纳热带植物园）执笔，第二章由宋松泉（中国科学院植物研究所，中国科学院西双版纳热带植物园）执笔，第三章和第四章由姜孝成（湖南师范大学生命科学学院）执笔，第五章由龙春林和唐安军（中国科学院昆明植物研究所）执笔，第六章由程红焱和宋松泉执笔，第七章由宋松泉和傅家瑞（中山大学生命科学学院）执笔，第八章由黄振英（中国科学院植物研究所）、于胜利（中国科学院植物研究所）和宋松泉执笔；中、英文索引和物种拉丁名索引由王如玲（中国科学院西双版纳热带植物园）和宋松泉整理。全书由宋松泉和程红焱负责修改校正。

本书是编者及其同事多年来从事研究和教学的产物，国内外相关的专著、综述和研究论文为本书的编著提供了极其丰富的营养，在此我们对其作者表示崇高的谢意。在本书的编著过程中，得到了中国科学院植物研究所匡廷云院士的关心和支持。本书还得到

了中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KSCX2-SW-117、KZCX2-YW-414)、中国科学院“百人计划”和中国科学院科学出版基金 [(2006) 出版资金办字第 022 号] 的资助; 中国科学院西双版纳热带植物园种子生物学研究组的黄芸、梅玉芹、阚静、丁艳芬等同学帮助收集部分资料并进行文字输入, 付出了辛勤的劳动; 在此一并表示衷心地感谢!

随着科学和技术的进步, 特别是分子生物学、基因组学和蛋白质组学等学科的迅速发展, 种子生物学的研究成果也日新月异; 加上编者们的水平有限, 书中的不足甚至错误之处在所难免, 还请读者批评指正。

“春种一粒粟, 秋收万颗籽”。在本书搁笔之际, 正值北京香山桃花盛开之时, 编者真诚地希望本书的面世尤如“春种一粒粟”, 引来读者们“秋收万颗籽”。

编者

2007 年 4 月 28 日

# 目 录

## 序

## 前言

第一章 种子的形态结构和组成	1
第一节 种子的形态结构	1
一、种子的外部性状	1
二、种子的内部结构	4
第二节 成熟种子的化学组分	14
一、种子内的水分	15
二、种子内的营养物质	20
第三节 主要作物种子的形态结构	36
第二章 种子的发育和成熟	41
第一节 胚胎发生和贮藏组织的形成	41
一、胚的发育	42
二、胚乳的发育	46
三、种皮的形成	48
第二节 成熟与贮藏物质的积累	48
一、胚和胚乳中同化物的来源	48
二、贮藏组织内贮藏物的沉积	50
第三节 植物激素与种子发育	75
一、植物激素的组分和定位	75
二、植物激素含量的发育变化	78
三、植物激素的可能作用	79
第四节 成熟脱水	85
一、种子萌发能力的获得	85
二、种子脱水耐性的获得	86
三、脱水对种子萌发的影响	87
四、脱水在转录水平的作用	88
五、LEA 蛋白在种子脱水中的作用	89
六、脱水和 ABA 之间的相互关系	91
第五节 干种子	93
一、束缚水与玻璃化作用	93
二、干种子的代谢作用	94
第三章 种子的萌发	95
第一节 种子萌发的一般特征	95

一、主要特征 .....	95
二、萌发的测定 .....	96
三、种子批萌发率的测定 .....	97
第二节 种子萌发和幼苗生长过程中的细胞内事件 .....	98
一、吸胀作用 .....	98
二、萌发的完成：胚根伸长及其控制 .....	104
三、萌发过程中的呼吸作用 .....	108
四、线粒体的发育与氧化磷酸化 .....	110
五、无氧条件下的呼吸作用 .....	118
六、萌发期间的蛋白质合成 .....	121
七、DNA 合成和细胞分裂 .....	127
八、幼苗生长与发育 .....	129
第三节 种子萌发的影响因子 .....	131
一、水分 .....	131
二、温度 .....	134
三、氧气和二氧化碳 .....	139
四、光对种子萌发的作用 .....	147
第四节 种子的播前处理 .....	154
一、渗透调节和生理活性物质处理对种子萌发的影响 .....	154
二、引动期间的细胞分裂 .....	156
三、核酸合成与修复 .....	157
四、蛋白质生物合成 .....	161
五、膜的伤害与修复 .....	163
六、引动与种子寿命 .....	164
第四章 种子贮藏物的动员及其调控 .....	168
第一节 种子贮藏物的动员 .....	168
一、贮藏碳水化合物的分解代谢 .....	168
二、禾谷类种子中碳水化合物的动员 .....	170
三、豆类种子中碳水化合物贮藏物的动员 .....	174
四、贮藏三酰甘油的分解代谢 .....	179
五、贮藏蛋白质的分解代谢 .....	187
六、贮藏磷酸的代谢 .....	197
七、贮藏核酸的动员 .....	199
第二节 贮藏物动员的调控 .....	200
一、禾谷类种子中贮藏物动员的调控 .....	200
二、其他种子中的调节过程 .....	214
三、胚乳弱化 (weakening) 与胚根突出 .....	220
第五章 种子的休眠及其控制 .....	224
第一节 种子休眠的意义与类型 .....	224



075	一、休眠的生物学意义	224
175	二、静止种子与休眠种子	225
178	三、种子休眠的类型	225
177	第二节 胚休眠	229
079	一、胚休眠	229
072	二、休眠种子的代谢作用	230
105	三、基因表达与休眠	231
109	第三节 后熟作用	232
081	一、后熟作用的影响因子	232
083	二、低温后熟中的生理生化变化	233
102	第四节 种皮效应	233
105	一、抑制水分吸收	234
061	二、机械限制	234
106	三、干扰气体交换	234
029	四、阻止抑制物渗漏	235
034	五、向胚供应抑制物	235
078	第五节 萌发抑制物	235
012	一、抑制物的类型	235
017	二、抑制物的生态学意义	236
017	第六节 植物激素对种子休眠的调节	236
016	一、细胞分裂素	236
018	二、赤霉素	237
010	三、脱落酸	237
011	四、乙烯	238
015	第七节 影响种子休眠的外部因子	239
152	一、温度	239
028	二、光	240
107	三、化学试剂	240
	<b>第六章 种子的生命力与寿命</b>	<b>243</b>
052	第一节 种子活力的概念	243
051	第二节 种子活力的鉴定	247
053	第三节 种子活力的获得	249
050	第四节 种子活力的调控	250
050	一、遗传因子决定种子的自然寿命	250
052	二、合理的采收、采后处理和播前预处理	255
173	三、合理的贮藏	255
057	第五节 种子的劣变	259
052	一、生化劣变	261
076	二、生理劣变	265

三、形态和细胞结构的变化 .....	270
第六节 种子衰老和萌发过程中的程序性细胞死亡 .....	275
<b>第七章 顽拗性种子</b> .....	277
第一节 顽拗性种子的类型 .....	277
第二节 顽拗性种子的发育及其脱水敏感性 .....	279
一、顽拗性种子的发育特性 .....	279
二、脱水耐性的发育变化 .....	281
三、种子顽拗性与类脱水素蛋白 .....	284
第三节 顽拗性种子脱水敏感性的生理基础 .....	288
一、种子的脱水耐性 .....	289
二、种子的脱水耐性与细胞内去分化和代谢作用 .....	291
三、抗氧化系统 .....	294
四、保护性物质 .....	299
五、修复机制 .....	301
六、影响种子脱水敏感性的环境因子 .....	302
第四节 顽拗性种子的贮藏 .....	307
一、水浸贮藏法 .....	307
二、适温保湿贮藏 .....	308
三、控湿贮藏法 .....	313
四、气调贮藏法 .....	313
五、超低温贮藏法——胚(胚轴)的贮藏 .....	314
六、幼苗的贮藏 .....	316
<b>第八章 种子生态</b> .....	318
第一节 种子的传播和萌发的适应机制 .....	319
一、种子的传播与萌发对干旱环境胁迫的适应对策 .....	319
二、种子萌发和幼苗生长及定居对沙埋和沙蚀的适应对策 .....	327
三、种子萌发和幼苗生长及定居对盐分胁迫的适应对策 .....	333
第二节 种子雨和土壤种子库 .....	341
一、种子雨 .....	342
二、土壤种子库 .....	346
第三节 种子顽拗性的系统、生态和进化 .....	359
一、产生顽拗性种子的植物系统分类 .....	359
二、与种子顽拗性相关的自然生境 .....	364
三、种子顽拗性的进化 .....	369
第四节 全球变化对植物种子及幼苗生理生态的影响 .....	370
一、种子产量的变化 .....	371
二、种子萌发和幼苗生长的变化 .....	372
三、种子传播 .....	372
四、结语 .....	373

参考文献 .....	375
中英文索引 .....	414
物种拉丁名索引 .....	434

## 第一章 种子的形态结构和组成

种子生物学工作者和种子库的工作人员在种子的采集和处理工作中，常会遇到一些问题，如物种鉴别、污染物清除、成熟度确定等。怎样确定种子的适宜采收时间和最佳的种子清洗技术，以减少对种子的损伤，获得最长的贮藏寿命？以及怎样采取一些必要的机械损伤，如切割或刺破种皮等以破除种子休眠？为解决以上问题，就必须了解种子的发育过程和成熟种子的形态结构和组成。

种子植物包括裸子植物和被子植物。从严格的植物学意义上讲，真正的种子是由受精的胚珠 (fertilized ovule) 发育而来的。受精后的胚珠发育而成的种子包括胚 (下一代)、贮藏组织 (在幼苗获得自养能力之前，为胚和幼苗的生长提供营养物质)、附属结构 (保护胚和贮藏组织或帮助种子传播)。但在科学研究和日常生活中所表述的种子，更多的是基于其繁殖和传播等功能性的概念，在部分物种中包括了由受精后的子房 (ovary) 发育而成的部分组织和结构。裸子植物的胚珠外没有心皮，而是松球果的珠鳞 (ovuliferous scale)，因而种子外没有果实的组织与种子相连，个别裸子植物的珠鳞肉质化，在种子成熟后将种子完全包被在内 (如刺柏属)，形成假果 (false fruit)；还有个别裸子植物 (如红豆杉属) 有假种皮 (aril)，会形成类似果实的结构，也会产生假果。禾谷类的籽实是颖果，不是真正的种子，其外紧贴着一层果皮；有的类型外面还包着一层稃壳。真正属于种子的部分，只占整个籽实的 70%~90%，而胚只占整个籽实的 2.2%，比大多数植物的胚要小得多。

由上可见，种子的形态结构较为复杂，不同植物类型的种子，其形态结构相差很大，以下从几个方面加以描述。

### 第一节 种子的形态结构

#### 一、种子的外部性状

自然界的种子种类繁多，不同植物所产生的种子在大小、形状、颜色、斑纹及内部的结构与化学组成等方面都有着较大的差别。首先就种子的形状、色泽和大小等直观性状进行观察比较。种子的形状和色泽在遗传上是相当稳定的性状，而在不同品种之间，往往存在显著的差异；因此，可作为鉴别不同物种种子的依据。种子的大小也是品种特征之一，种子的长度和宽度一般比较稳定，但厚度及千粒重却受生长环境和栽培条件的影响较大，即使是同一品种，在不同地区和不同年份，种子的饱满程度亦可能相差甚远。在一定程度上，种子的形状、色泽和大小不但受到植物种子成熟期间气候条件的影响，而且与种子本身的成熟度也密切相关。成熟种子形态结构的多样性是各种进化压力的综合结果。正因为种子的外部形态如此多样化，所以利用种子外形的特点来鉴别植物

种子，已受到植物分类工作者和商品检验与检疫等部门的重视。

## 1. 外形

种子的外形多种多样，较为常见的有圆球形（如油菜和豌豆）、椭圆形（如大豆和落花生）、扁形（如蚕豆）、肾形（如菜豆）、白齿形（如玉米）、纺锤形（如大麦）、扁椭圆形（如蓖麻）、卵形或圆锥形（如棉花）、扁卵形（如瓜类）、扁圆形（如兵豆）、楔形或不规则形（如黄麻）等。较为少见的有三棱形（如荞麦）、螺旋形（如黄花苜蓿的荚果）、近似方形（如豆薯）、盾形（如葱）、钱币形（如榆树）、头颅形（如椰子）等。此外，还有细小如鱼卵的苋菜、带尖刺如菱角的菠菜、具薄翅如蝴蝶的墨西哥猴梳藤（*Pithecoctenium echinatum*）、细小如尘埃的兰花，以及其他的奇异形状。种子的外形一般可用肉眼观察，但有些细小的种子须借助放大镜或显微镜才能观察清楚。

## 2. 色泽

种子的颜色也丰富多彩，由于含有各种不同的色素，往往呈现不同的颜色及斑纹。有纯色的，如黄色、青色、褐色、白色和黑色等，也有具有彩色纹理的（如蓖麻种子），有的颜色鲜明，有的色泽黯淡，有的富有光泽。在实际应用中可根据不同的色泽来鉴别作物的种和品种，例如，大多数玉米品种的籽实为橙黄色，但有的品种则为鲜黄色、浅黄色、玉白色，乃至乳白色；大豆亦因品种不同而呈现多种多样的颜色，如浅黄、淡绿、紫红、深褐及黑色等；小麦品种根据外表颜色可分为红皮和白皮两大类型，每个类型又有颜色的深浅和明暗的差别。种子所含的色素存在于不同的部位，如紫稻的花青素、荞麦的黑褐色存在于果皮内，而红米稻的红褐色、高粱的棕褐色则存在于种皮内；又如，大麦的青紫色则存在于糊粉层内，玉米的黄色则存在于胚乳内；也有某些色素存在于子叶内，如青仁大豆的淡绿色等。

## 3. 大小

种子的大小常用籽粒的平均长、宽、厚或千粒重来表示。种子的长、宽、厚在清选上有特殊重要的意义。在农业生产上，往往以其千粒重（或百粒重）作为衡量种子品质的主要指标之一。不同植物种子的大小相差悬殊，大者如椰子的球形种子，直径可达15~20 cm；小者如一般常见的油菜、芝麻等种子；榕树、烟草的种子比油菜和芝麻的种子更小，其大小犹如细微的沙粒。就农作物而言，大粒蚕豆的千粒重可达2500 g以上，而烟草种子的千粒重仅为0.06~0.08 g。同一种作物因品种不同，种子大小的变异幅度也相当大，如小粒玉米的千粒重约为50 g，而大粒品种可达1000 g以上。主要农作物种子的千粒重大多数为20~50 g，现列举各种作物种子的大小（长宽度及千粒重）于表1-1和表1-2，以供参考比较。

表 1-1 禾谷类种子的大小和千粒重

Table 1-1 Seed size and one thousand weight of cereals

作物种类	种子大小/mm		千粒重/g
	长度	宽度	
水稻	5~10	1.5~5	27 (15~43)*
玉米	8~17	5~15	324 (240~360)
高粱	3~5	2.5~4.5	23 (10~30)
小米			6
黍稷	2.6~3.5	1.5~2.0	(3~8)
珍珠粟			9
小麦	5~8	2.5~4.5	37 (15~88)
大麦	8~14	1~4.5	37 (20~55)
燕麦	6~13	1~4.5	32 (15~45)
黑麦	4.5~10	1.5~3.5	21 (13~50)
小黑麦			(28~45)
荞麦	4.2~6.2	2.8~3.7	(15~40)

\* 括号内的数字表示千粒重的范围

表 1-2 蔬菜种子的千粒重

Table 1-2 One thousand weight of vegetable seeds

蔬菜种类	千粒重/g
小萝卜	7~11
萝卜	10~16
胡萝卜	1~1.5
莴笋类 (团叶生莴笋类等)	0.8~1.5
芥菜类 (雪里蕻、芥菜等)	1.2~2
白菜类 (小白菜、大白菜、油菜)	2.5~4
甘蓝	3.3~4.5
菠菜	8~10
芹菜	0.4~0.5
茴香	1.2~2.6
韭菜	4~4.5
洋葱	3~4
大葱	2.5~3.6
番茄	2.5~4
茄子	3.5~7
黄瓜	16~30
西葫芦	130~200
南瓜	140~350
辣椒、甜椒	4.5~7.5
冬瓜	30~42

## 二、种子的内部结构

与种子的外部形态相比，种子的内部结构和化学组成要复杂得多。从植物形态学角度进行观察，绝大多数种子的构造基本上具有共同点，即每颗种子都由种皮、胚和胚乳三个主要部分组成。

被子植物的种子一般由胚、胚乳和种皮三部分组成（图 1-1），少数被子植物的种子还具有外胚乳结构。胚由胚囊中的卵细胞及来自花粉管的两个精核之一融合而成的合子发育而成，胚乳是胚囊中的两个极核与花粉管中的另一个精核融合后发育形成；少数被子植物种子中的外胚乳结构，是由种子发育过程中未被完全吸收而残留的珠心组织构成，不同种类种子的胚乳（或外胚乳）在一定程度上存在着差异。种皮由胚珠周围的一层或两层珠被发育而成，许多种子都被明显的种皮包被，而有的种皮发育不完全。有些种子的最外层结构是由子房壁发育而成的果皮；在这种情况下，植物的传播扩散单位就不是种子，而是果实（表 1-3）。

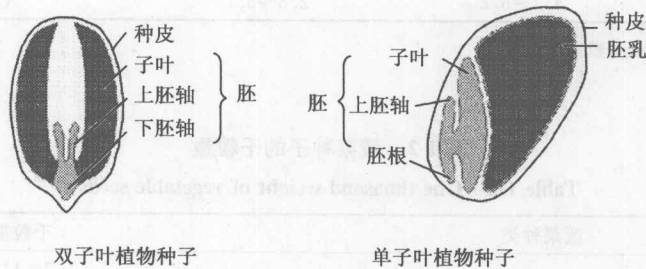


图 1-1 被子植物种子的结构示意图

Figure 1-1 Structure of angiosperm seed

表 1-3 不同类型植物的传播单位

Table 1-3 The dispersal units of different types of plants

种子	果实（果实类型）
豆类种子（如豌豆等）	谷物的果实（颖果）
棉花种子	莠苣、向日葵和其他菊科植物的果实（连萼瘦果）
油菜种子	岑树和榆树的果实（翅果）
蓖麻种子	榛和橡树的果实
番茄种子	毛茛、银莲花和水杨梅属植物的果实（瘦果）
南瓜、黄瓜和葫芦等的种子	
咖啡种子	

引自 Bewley 和 Black (1994)

裸子植物的种子没有精核与两个极核融合而成的三倍体胚乳结构，其贮藏组织（在功能上类似于胚乳）为单倍体，由雌配子体发育而来。

正常情况下，被子植物首先经过有性生殖过程，卵细胞和精子融合而形成合子，然后合子经过有丝分裂发育成胚，最后形成种子；但也有少数植物的种子是通过无性过程

而产生的，称为无融合生殖，即卵细胞不经过精卵融合而直接发育成胚，进而发育成种子，如蒲公英和早熟禾的孤雌生殖方式，卵细胞不经过受精直接发育成胚。除此之外，属于无融合生殖的还有无配子生殖和无孢子生殖。无配子生殖是指种子中的胚是由胚囊中的助细胞、反足细胞或极核等非生殖细胞发育而成，如葱、鸢尾和含羞草等；无孢子生殖是指种子中的胚是由珠心或珠被细胞直接发育而成，如柑橘属 (*Citrus*)。通常这些种子与那些通过有性生殖产生的同类种子在外表上不可区分。蒲公英及其他一些植物种类已完全或几乎完全依靠单性生殖进行繁殖。

种子的基本结构分别以菜豆和玉米作为双子叶植物和单子叶植物的代表 (图 1-2)，概括如下：

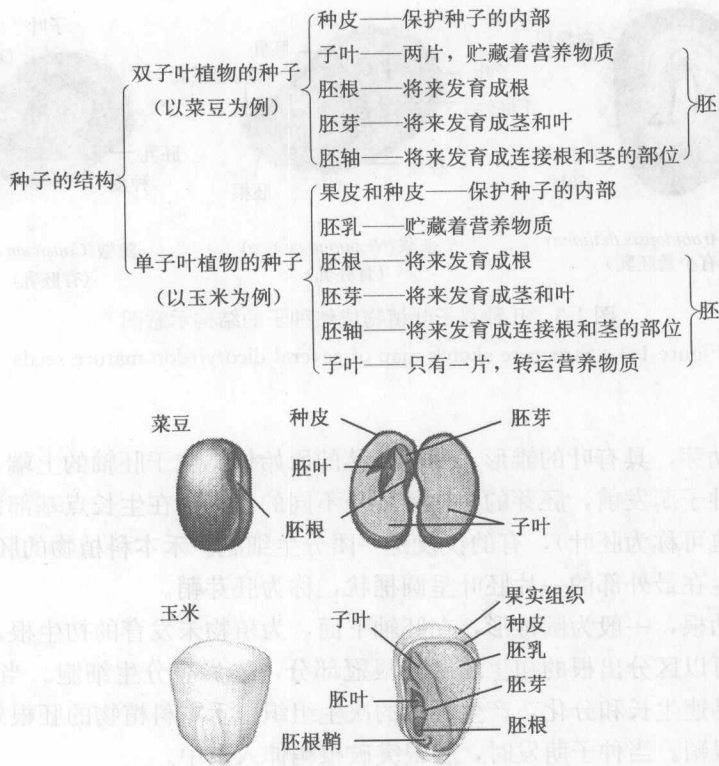


图 1-2 菜豆 (双子叶) 和玉米 (单子叶) 种子的结构

Figure 1-2 Seed structures of maize (monocotyledon) and bean (dicotyledon)

### (一) 胚

胚是种子的最主要部分，是由受精卵发育而成的幼小植物体。各类种子的胚，因各部分的构造与发育程度不同，其形状各异，但所具备的基本器官相同。一般可分为胚根、胚轴、胚芽和子叶，其中胚根、胚轴和胚芽是构成胚的基本器官，合称为胚中轴 (embryo axis) 或胚本部，随后发芽成长为新的植株——幼苗。子叶一般是过渡性结构，仅在发芽和幼苗生长期间起提供养分 (双子叶植物) 或传递养分 (单子叶植物) 的



作用，待幼苗长成即逐渐解体消失；但有少数植物（如棉花、大豆）的子叶也能保持到植株长成以后。图 1-3 为几种双子叶植物成熟种子的结构示意图。

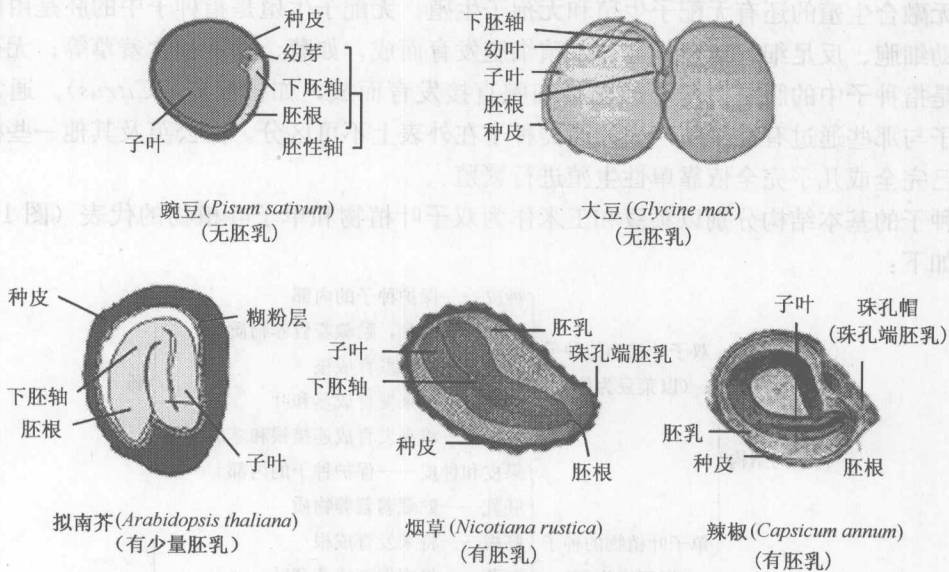


图 1-3 几种双子叶植物成熟种子的结构示意图

Figure 1-3 Structure sketch map of several dicotyledon mature seeds

胚芽也称幼芽，具有叶的雏形，是叶、茎的原始体，位于胚轴的上端，其顶部即茎的生长点。在种子萌发前，胚芽的分化程度是不同的，有的在生长点基部已形成一片或数片初生叶（也可称为胚叶），有的仅仅是一团分生细胞。禾本科植物的胚芽由 3~5 片胚叶组成，着生在最外部的一片胚叶呈圆桶状，称为胚芽鞘。

胚根又称幼根，一般为圆锥形，在胚轴下面，为植物未发育的初生根，有一条或多条。在胚根中可以区分出根的初生组织与根冠部分，根尖有分生细胞。当种子萌发时，这些分生细胞迅速生长和分化，产生根部的次生组织。禾本科植物的胚根外包有一层薄壁组织，称为根鞘。当种子萌发时，胚根突破根鞘伸入土中。

胚根和胚芽的体积很小，其顶端都有生长点，由分生细胞组成。这些分生细胞体积小、细胞壁薄、细胞质浓厚、细胞核相对比较大，没有或仅有小液泡。当种子萌发时，这些细胞很快分裂、长大，使胚根和胚芽分别伸长，突破种皮，长成新一代植物的茎、叶和主根 [也有例外，如大叶藤黄 (*Garcinia xanthochymus*) 新一代植物的主根是种子萌发后长出的不定根，而胚根在种子萌发后不久即退化消失]。

胚轴又称胚茎，介于胚根和胚芽之间，是连接胚芽和胚根的过渡部分，同时又与子叶相连，一般极短，不甚明显。胚轴随着胚根和胚芽的生长而一起生长，随后成为幼根或幼茎的一部分。一般将双子叶植物的子叶在胚轴上的着生点至第一片真叶之间的部分称为上胚轴，而将子叶在胚轴上的着生点至胚根之间的部分称为下胚轴，通常将下胚轴直接简称为胚轴。在种子发芽前胚轴通常不很明显，胚轴和胚根的界限从外部看不清楚，只有根据详细的解剖学观察才能确定。有些种子萌发时，随着幼根和幼芽的生长，