



植物种子

保存和检测的原理与技术



邓志军 宋松泉 艾训儒 姚 兰 编著



科学出版社

植物种子保存和检测的原理与技术

邓志军 宋松泉 艾训儒 姚 兰 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书作者及其同事结合多年来的研究工作,在广泛收集国内外大量文献的基础上,全面而系统地介绍了植物种子保存和检测的原理与技术。全书分为三部分,第一部分种子(质)保存和检测的原理与进展,包括种子的结构、形成与发育,种子萌发与幼苗生长模式,种子休眠及其调控,种子活力、贮藏与劣变,种子的脱水敏感性与资源保存;第二部分种子(质)保存技术,包括种子的采集、清理、干燥、入库、管理,以及种质资源库的设计、建设和种质资源的超低温保存技术;第三部分种子检测技术,介绍了取样、形态描述、含水量测定、萌发技术、生活力检测、X射线检测,以及休眠类型和脱水行为的评价。书后附有种子形态术语、种子萌发规程、中间性种子和顽拗性种子的植物名录,以及物种索引和中英文主题索引。

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

植物种子保存和检测的原理与技术/邓志军等编著. —北京:科学出版社, 2019.1

ISBN 978-7-03-058408-3

I. ①植… II. ①邓… III. ①种子-贮藏 ②种子-检验 IV. ①S339.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 173674 号

责任编辑:王海光 郝晨扬/责任校对:郑金红

责任印制:张 伟/封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2019 年 1 月第一次印刷 印张:18 3/4

字数:378 000

定价:158.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

种子是农业、林业和园艺生产中最基本的生产资料，种子质量直接影响播种品质、产量与粮食安全。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新品种选育和改良的前提。此外，种子产业是植物及其大农业产业的“母亲产业”，是植物和大农业科学技术的载体。因此，保存高质量的植物种子(质)及研发相应的检测技术具有重要的理论和实践意义。正所谓“一粒种子可以改变一个世界，一个品种可以造福一个民族”。

本书作者及其同事结合多年来的研究工作，在广泛收集国内外大量文献的基础上，比较全面且系统地介绍了植物种子(质)保存和检测的原理、种子(质)保存技术和种子检测技术。本书的第一部分由邓志军(湖北民族学院)、宋松泉(怀化学院/中国科学院植物研究所)、艾训儒和姚兰(湖北民族学院)共同执笔，第二部分由艾训儒、姚兰和邓志军共同执笔，第三部分由宋松泉和姚兰共同执笔，附录和索引由邓仕明(湖北民族学院)、姚兰和宋松泉编辑整理。全书由宋松泉负责统改与校正。

本书是作者及其同事多年来从事种子科学与技术研究和教学的成果，国内外大量的相关文献对本书的编著具有借鉴作用，在此我们对相关的作者和研究人员致以诚挚的谢意。同时，本书的编著和出版得到了国家科技支撑计划课题“珍稀植物资源保育与可持续开发利用技术及应用”(2012BAC01B05)、湖北民族学院林学省级重点(特色)学科课题、国家自然科学基金青年基金项目(81303169)、湖北民族学院博士科研启动基金项目(MY2013B014)、湖北省教育厅科学研究计划资助项目(Q20141902)和生物资源保护与利用湖北省重点实验室开放课题(PKLHB1304)的资助；中国科学院植物研究所“西部之光”访问学者、云南省临沧市种子管理站梅玉芹女士帮助收集部分资料并进行文字输入，朱艳芳和刘欢(湖北民族学院)协助整理参考文献，科学出版社科学生物分社王海光编辑提出了许多宝贵的建议，在此一并表示衷心的感谢。

种子作为植物的繁殖体，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“精灵”；种子中丰富的贮藏物，如淀粉、脂类和蛋白质是人类与动物的重要食物来源，也是主要的工业原料来源；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。所有这些无一不彰显了种子所体现的精神——传承、奉献与创新。

随着科学和技术的进步，特别是分子生物学和组学等的迅速发展，种子生物学的研究成果日新月异，加之编著者的水平有限，书中不足之处还请读者批评指正。

编著者

2017年夏于湖北恩施

目 录

第一部分 种子(质)保存和检测的原理与进展

第一章 种子的结构、形成与发育	3
第一节 种子的结构	4
第二节 种子的形成与发育	7
第三节 种子萌发能力的获得	15
第四节 种子脱水耐性的获得	18
第二章 种子萌发与幼苗生长模式	22
第一节 种子萌发的特征	22
第二节 种子萌发过程中的主要事件	27
第三节 影响种子萌发的因素	39
第四节 幼苗生长模式	44
第三章 种子休眠及其调控	48
第一节 种子休眠的生物学意义	48
第二节 种子休眠的类型	50
第三节 种子休眠的进化	56
第四节 种子休眠的控制	58
第四章 种子活力、贮藏与劣变	75
第一节 种子活力	75
第二节 种子贮藏	78
第三节 种子劣变的形态和超微结构变化	88
第四节 种子劣变的机制与结果	89
第五章 种子的脱水敏感性与资源保存	93
第一节 脱水敏感性种子的发育特性	93
第二节 种子脱水敏感性的分子生理	95
第三节 脱水敏感性种子的贮藏	106

第二部分 种子(质)保存技术

方案 1 种子的采集	115
方案 2 种子的清理	123
方案 3 种子的干燥技术	127
方案 4 种子的入库技术	128
方案 5 种子库的管理技术	130
方案 6 种质资源库的设计与建设	133
方案 7 植物种质资源的超低温保存技术	140

第三部分 种子检测技术

方案 1 取样	149
方案 2 种子的形态描述	151
方案 3 种子含水量的测定	156
方案 4 种子萌发技术	158
方案 5 种子生活力的四唑检测	161
方案 6 离体胚生活力的检测	177
方案 7 种子的 X 射线检测	180
方案 8 种子活力的测定	183
方案 9 种子休眠类型的评价	189
方案 10 种子脱水行为的评价	192

参考文献	194
------	-----

附录	213
----	-----

附录 I 种子形态术语	213
-------------	-----

附录 II 正常苗与不正常苗的划分	218
-------------------	-----

附录 III 部分植物种子的萌发规程	222
--------------------	-----

附录 IV 种子 TTC 染色的准备与评价	258
-----------------------	-----

附录 V 产生和可能产生中间性种子的部分植物名录	261
--------------------------	-----

附录 VI 产生和可能产生顽拗性种子的部分植物名录	266
---------------------------	-----

物种索引	284
------	-----

中英文主题索引	287
---------	-----

第一部分

种子(质)保存和检测的原理与进展

第一章 种子的结构、形成与发育

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) 发育而成的。由受精后的胚珠发育而成的种子包括胚 (下一代植物)、贮藏组织 (主要为碳水化合物、脂肪和蛋白质) 和保护性结构 (种皮和/或果皮)。但在日常生活、生产和科学研究中所表述的“种子”，大多数是基于其繁殖和传播的概念，既包括真正的种子，也包括由子房 (ovary) 发育而成的部分组织和结构，实际上是果实。例如，水稻和小麦的籽粒是颖果，其种皮和果皮紧贴在一起，外面还包着稃壳。图 1-1-1 描述了被子植物的花与种子或者果实之间的相互联系。

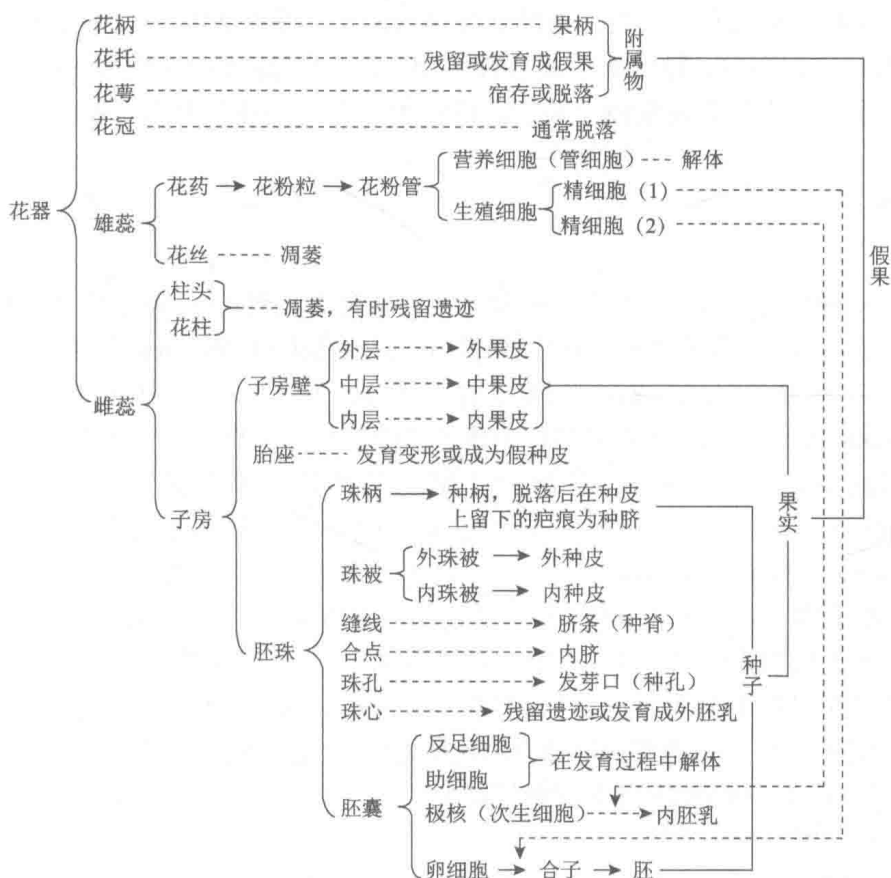


图 1-1-1 被子植物的花与种子(果实)各部分的对应关系(引自颜启传, 2001)

Figure 1-1-1 Relationship between flower and seed (fruit) compositions in angiosperm (From Yan, 2001)

自然界植物种子的种类繁多,不同植物所产生的种子在大小、形状、颜色、表面纹理、内部结构和化学组成等方面都存在着较大的差别。观察比较种子的大小、形状和色泽等直观性状,发现种子的形状和色泽在遗传上是相当稳定的,不同物种的种子之间往往存在显著差异。因此,这些性状可作为鉴别不同物种种子的依据。

第一节 种子的结构

被子植物(angiosperm)的种子通常包括:①胚(embryo),由花粉管中的一个精细胞与胚囊中的卵细胞受精而成;②胚乳(endosperm),由胚囊中的中央细胞的两个极核与花粉管中的另一个精细胞融合而成;③外胚乳(perisperm),由珠心发育而成;④种皮(seed coat),由胚珠周围的一层或者两层珠被发育而成。尽管成熟的种子都含有一个胚(有时很少发育),且大部分种子都被种皮包裹,但不同物种种子的胚乳或者外胚乳的有无及存在程度有着较大的差异。有时,种皮仅以一种基本形式存在,最外层的优势结构是由子房壁发育而成的果皮。在裸子植物(gymnosperm)种子的形成过程中,精细胞不与胚囊中的中央细胞的两个极核融合,因此在其成熟种子的贮藏组织中没有三倍体的胚乳(图 1-1-2)。

一、胚

胚由胚轴(axis)和一个或多个子叶组成。胚轴由胚根(radicle)、着生子叶的下胚轴(hypocotyl)和具有第一真叶原基(plumule)的茎尖(shoot apex)组成。这些结构在双子叶植物(dicotyledon)的胚中容易辨别(图 1-1-2),但在单子叶植物(monocotyledon)特别是禾谷类植物中确定胚的结构是困难的。单个子叶被简化和修饰形成盾片(scutellum),子叶的叶鞘基部伸长形成覆盖第一叶的胚芽鞘(coleoptile)。在一些物种[如玉米(*Zea mays*)]中,下胚轴被修饰形成中胚轴(mesocotyl)。胚根鞘(coleorhiza)位于下胚轴的基部,覆盖胚根(图 1-1-2)。

在种子内,胚的形状和大小是变化的,胚在胚乳发育良好的种子中所占的比例比无胚乳种子小(图 1-1-2)。具胚乳种子的子叶通常薄而扁平,因为这些种子不在子叶中储存贮藏物[如蓖麻(*Ricinus communis*)];在无胚乳种子如许多豆类植物种子中,子叶是贮藏物储存的场所(胚的贮藏组织),几乎占据种子的所有质量(图 1-1-2)。许多寄生植物的种子缺乏子叶,而许多针叶树种的胚含有几个子叶(多子叶的)(图 1-1-2)。

在巴西坚果(*Bertholletia excelsa*)中,许多可食用的仁(胚)是下胚轴,它们非常大,是贮藏物储存的场所。

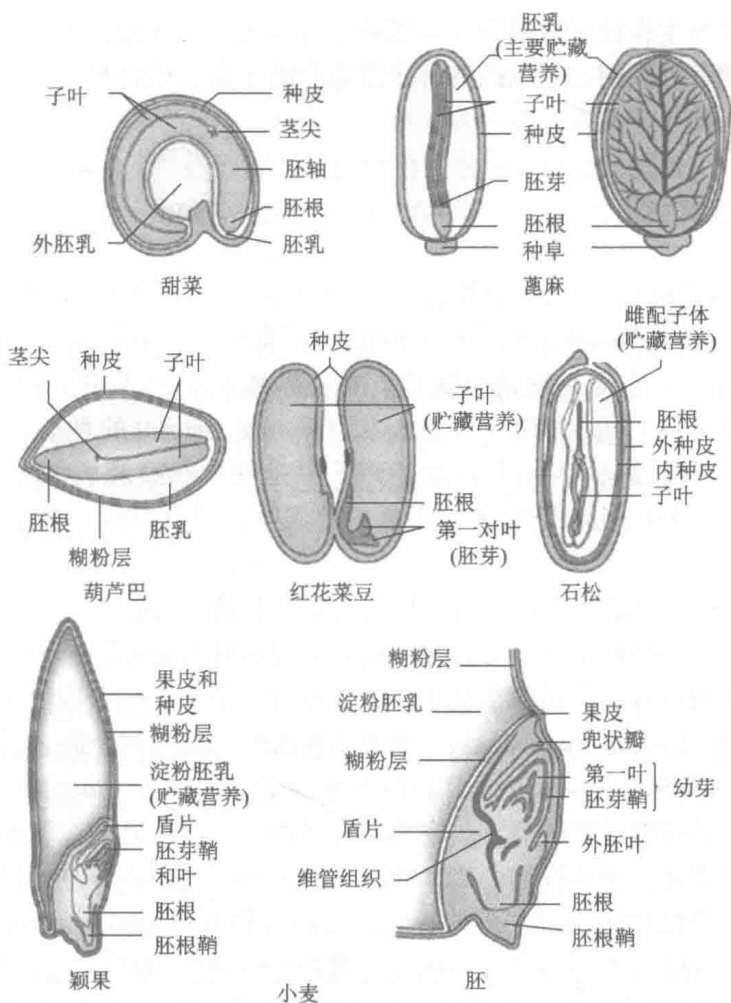


图 1-1-2 单子叶植物(小麦)、双子叶植物(甜菜、蓖麻、葫芦巴、红花菜豆)和裸子植物(石松)种子的结构，显示组织和器官的定位。没有按比例绘制(引自 Bewley et al., 2013)

Figure 1-1-2 The structure of monocotyledon (wheat), dicotyledon (beet, castor bean, fenugreek and runner bean) and gymnosperm (stone pine) seeds showing the location of their tissues and organs. Not drawn to scale (From Bewley et al., 2013)

在一些物种中出现多胚 (polyembryo) 现象，即在一粒种子内含有一个以上的胚，如高山早熟禾 (*Poa alpina*)、柑橘属 (*Citrus*)、仙人掌属 (*Opuntia*) 植物。产生多胚现象的原因可能是受精的卵细胞分裂形成几个合子初始细胞 (zygote initial)，一个或者多个助细胞 (胚囊中的辅助细胞) 发育，每个珠心存在几个胚囊，以及不同形式的无融合生殖。在亚麻 (*Linum usitatissimum*) 和其他物种中，由多胚形成的胚是单倍体。

当种子从母体植株上脱落时，不是所有的种子都含有成熟胚。对于桤属 (*Fraxinus*) 植物、胡萝卜 (*Daucus carota*) 和大豕草 (*Heracleum mantegazzianum*)，

胚的最后发育发生在种子散播后。兰花种子含有极小的和发育不完整的胚，没有胚乳，没有储存贮藏物，它们的进一步发育和萌发需要植物与土壤真菌或者其他微生物形成一种共生关系。

二、非胚贮藏组织

在大多数物种中，二倍体的外胚乳(perisperm)完全来源于母体胚珠(ovule)的珠心组织(nucellar tissue)，在受精后外胚乳不发育，或者仅发育一段时间；当胚和胚乳发育时，它们迅速地被吸收。在一些物种的种子中，包括甜菜(*Beta vulgaris*)、丝兰属(*Yucca*)和一些仙人掌(*Opuntia stricta*)的种子，外胚乳是贮藏物的主要储存组织，实际上在这些种子中是缺少(内)胚乳的。在甜菜种子中(图 1-1-2)，外胚乳和子叶含有大量的贮藏物，只有一层胚乳细胞覆盖胚的根尖。

根据成熟种子中是否存在结构完整的三倍体胚乳，可以将种子分为有胚乳或者无胚乳种子。一些种子即使存在胚乳，通常也被认为是无胚乳种子，这是因为在发育过程中大部分胚乳组织被破坏了，仅存在一个薄的残余物[如大豆(*Glycine max*)和落花生(*Arachis hypogaea*)]，或者胚乳组织可能是健全的，但只有一层到几层细胞厚[如莴苣(*Lactuca sativa*)和拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)]。在这些情况下，子叶通常是主要的贮藏器官。在成熟种子内，一些胚乳的体积相对较大，是贮藏物的主要来源，如禾谷类、蓖麻和海枣(*Phoenix dactylifera*)，以及具胚乳的豆科植物如葫芦巴(*Trigonella foenum-graecum*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)和皂荚(*Gleditsia sinensis*)。在禾谷类和一些具胚乳的豆科植物(如葫芦巴)中，胚乳中的大多数细胞在成熟时是无生命力的，细胞质的内容物已经被发育过程中积累的贮藏物所堵塞，并伴随细胞程序性死亡的发生。但是，在胚乳的外面是具生理活性的糊粉层(aleurone layer)，它不储存任何贮藏物，负责产生和释放贮藏物动员的酶。具有高度保水能力的胚乳可能有双重作用：在萌发过程中调节胚的水分平衡，为早期幼苗生长提供贮藏物(如葫芦巴)。椰子(*Cocos nucifera*)种子的胚乳是一种不常见的胚乳，其中一部分是无细胞的液体胚乳。

在裸子植物中，单倍体的雌配子体(megagametophyte)(一种卵细胞受精后继续存留的母体组织)包裹胚，是主要的营养组织。

三、种皮

种皮解剖结构的变化是非常明显的，在分类学上已被用来区分不同的属和种。种皮是种子的重要组成部分，因为它常常是胚与外部环境之间唯一的保护性屏障。

种皮的保护性作用可以归因于外部和内部存在的角质层(cuticle),角质层中常常充满着脂肪和蜡质物质[如木栓质(suberin)],以及一层或者多层厚壁保护细胞。在许多物种的种皮中存在含结晶(草酸钙或者碳酸钙,二氧化硅)的细胞层[如芝麻(*Sesamum indicum*)],它们可能起保护作用,如防止昆虫的捕食。

根据种皮的颜色和纹理特征能区分许多种子,但有时在分类学上不能被利用,因为在发育过程中由于环境和遗传影响,种皮的颜色和纹理可能发生变化。当从母体植株脱离时,种皮具有疤痕(scar),称为种脐(hilum)。在许多种皮种脐的一端可以看到一个小凹陷,即珠孔(micropyle)。毛或者翅膀能在种皮上发育,从而帮助种子传播[如垂柳(*Salix babylonica*)、野百合(*Lilium brownii*)、柳叶菜属(*Epilobium*)植物];通常,传播结构是一种包裹果皮的修饰物。为了吸引鸟类和其他动物帮助传播,一些种子的种皮外层形成有颜色的肉质种皮(sarcotesta);种皮内层产生具有刚性和保护性的结构[如泽米属(*Zamia*)和红豆杉属(*Taxus*)植物种子、银杏(*Ginkgo biloba*)种子]。

在一些种子中,具有种阜(strophiole)和假种皮(aril),它们常常含有化学物质,如吸引蚂蚁的油。蚂蚁能把种子带走作为食物,从而传播种子。假种皮的形状是变化的,可以形成瘤(knob)、带(band)、脊(ridge)或者吸盘(cupule),常常具有鲜艳的颜色;其中一些还具有商业价值,如肉豆蔻(*Myristica fragrans*)的假种皮被用作香料。

第二节 种子的形成与发育

被子植物的成熟胚囊包含一个卵细胞(egg cell)、两个助细胞(synergid cell)、三个反足细胞(antipodal cell)和一个含有两个极核的中央细胞(central cell)(图 1-1-3A)。花粉管到达胚囊后,从一个已经退化的助细胞的基部进入,另一个助细胞短期存在或者相继退化。随后,花粉管末端的一侧形成一个小孔,释放两个精细胞、营养核和花粉管物质到胚囊中。其中一个精细胞与卵细胞融合,另一个精细胞与中央细胞的两个极核融合(图 1-1-3B,图 1-1-3C)。这种两个精细胞分别与卵细胞和极核融合的现象,称为双受精作用(double fertilization)。它是被子植物特有的有性生殖现象。在双受精过程中,精核进入卵细胞后,精核与卵核接触的核膜首先融合,接着核质融合,两者的核仁也融合成为一个大核仁;至此,卵完成受精,成为合子。精卵融合的同时,另一个精细胞进入中央细胞,精核与两个极核相互融合,类似于精卵的融合,但融合的速度比精卵融合快,最终形成三倍体的初生胚乳核。在随后的胚胎发生过程中,合子发育成为胚,初生胚乳核发育成为胚乳(图 1-1-3D,图 1-1-3E)。

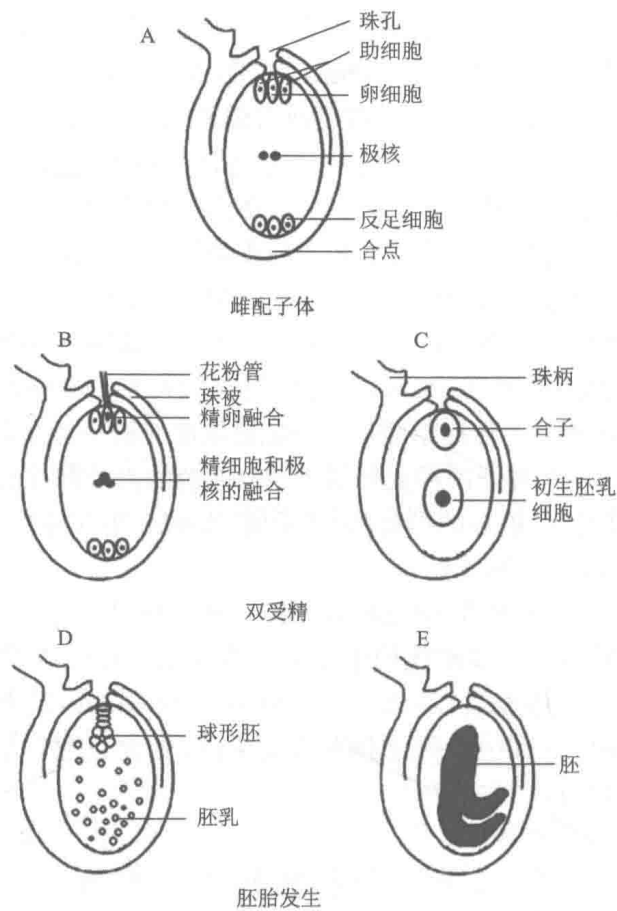


图 1-1-3 雌配子体、双受精和胚胎发生(引自 Chaudhury et al., 1998)

A. 雌配子体含有一个卵细胞、一个 $2n$ 中央细胞、两个邻近卵细胞的助细胞和三个位于合点端的反足细胞；B. 花粉管通过珠孔进入胚珠，释放两个精细胞，一个与卵细胞融合，另一个与中央细胞的两个极核融合；C. 受精后，产生一个合子和一个初生胚乳细胞；D. 胚胎发生过程中，胚和胚乳发育；E. 在胚胎发生后期形成一个成熟的胚

Figure 1-1-3 Female gametophyte, double fertilization and embryogenesis (From Chaudhury et al., 1998)

A. The female gametophyte contains an egg cell, a $2n$ central cell, two synergid cells next to the egg cell, and three antipodal cells in the chalazal end; B. Pollen tube enters the ovule through the micropyle and delivers two sperm cells that fuse with the egg cell and the central cell; C. Following fertilization a zygote and a primary endosperm cell are produced; D. During embryogenesis the development of embryo and endosperm occurs; E. At the end of embryogenesis a mature embryo is formed

一、胚的发育

1. 胚的形成

精卵融合形成合子后，通常要静止一段时间才能开始胚的发育过程。静止时间的长短取决于物种，如水稻 (*Oryza sativa*) 合子的静止时间为 4~6 h，草棉

(*Gossypium herbaceum*) 为 2~3 d, 可可(*Theobroma cacao*) 约为 15 d。

荠(*Capsella bursa-pastoris*) 的合子(图 1-1-4A) 首先进行一次横向分裂, 形成两个大小不等的细胞; 较大的细胞位于近珠孔端, 且液泡化程度高, 称为基细胞(basal cell); 较小的细胞位于远珠孔端, 细胞质浓, 称为顶细胞(apical cell)(图 1-1-4B)。基细胞继续分裂成为胚柄(suspensor)(图 1-1-4E)。胚柄将胚体推向胚囊, 以利于胚在发育过程中吸收周围的营养物质。在胚柄生长的同时, 顶细胞也在进行分裂, 经过多次纵向与横向分裂后, 形成多细胞的球形胚(globular embryo)(图 1-1-4F)。球形胚继续分裂增大, 位于其顶端两侧部位的细胞分裂次数较多, 且生长较快, 形成两个突起, 称为子叶原基(cotyledon primordium); 此时胚呈心形, 即为心形胚(heart-shaped embryo)(图 1-1-4G)。随后子叶原基继续延伸生长, 形成两片形状、大小相似的子叶。紧接着, 子叶基部的胚轴也随之伸长, 此时胚呈鱼雷形, 即为鱼雷形胚(torpedo-shaped embryo)(图 1-1-4H)。随后, 在两片子叶基部相连的凹陷处分化出胚芽; 与胚芽相对的一端形成胚根。至此, 子叶、胚芽、胚根和胚轴都已形成, 幼胚分化完成。随着幼胚的继续发育, 子叶和胚轴显著延伸, 并在胚囊内弯曲呈“U”形, 胚最终发育成熟, 而胚柄已退化消失(图 1-1-4I)。双子叶植物拟南芥胚的发育模式类似于荠, 合子分裂后产生一个顶细胞和一个基细胞。基细胞发育成胚柄, 顶细胞逐步发育成原胚、球形胚、心形胚、鱼雷形胚和成熟胚(图 1-1-5)。

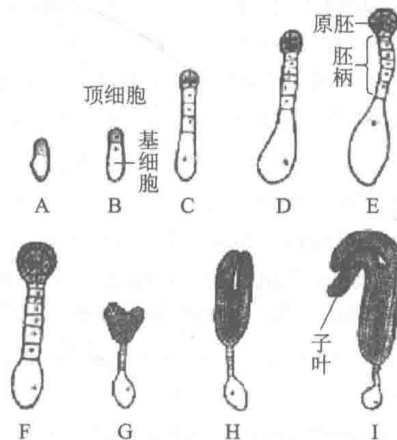


图 1-1-4 双子叶植物荠胚的发育(引自 Johri et al., 2001)

A. 合子(受精卵); B. 合子第一次横裂; C. 较大的基细胞伸长, 较小的顶细胞进一步分裂; D. 基细胞继续膨大, 线性排列的横分裂的胚柄细胞(顶细胞的产物), 以及四分体; E. 四分体发育成原胚; F. 球形胚; G. 心形胚和胚柄; H. 鱼雷形胚; I. 双子叶植物的幼胚

Figure 1-1-4 Development of dicotyledon *Capsella bursa-pastoris* embryo (From Johri et al., 2001)

A. Zygote (fertilized egg); B. Transverse division of zygote; C. The larger basal cell elongates, and the smaller apical cell divides further; D. The basal cell enlarged continuously, linearly placed and transversely divided cells of the suspensor (products of apical cell), and quadrant; E. Proembryo developed from quadrant; F. Globular embryo; G. Heart-shaped embryo and suspensor; H. Torpedo-shaped embryo; I. Young dicotyledon embryo

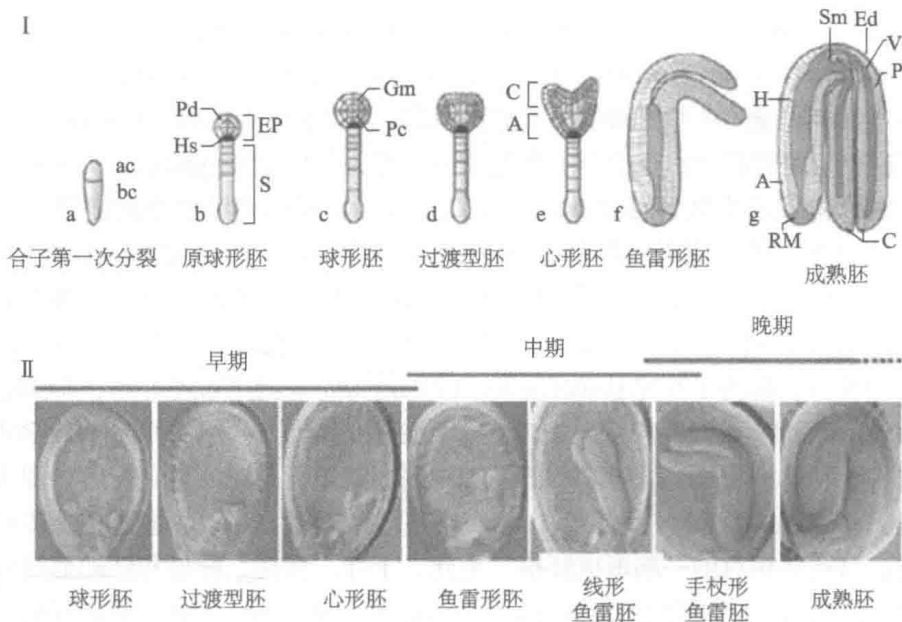


图 1-1-5 双子叶植物拟南芥胚的发育阶段 (I) 和发育的拟南芥种子原位胚胎发生的微干涉 (Nomarski) 显微照片, 显示发育的早期、中期、晚期 (重叠) 阶段 (II) (引自 Bewley et al., 2013)

a. 卵细胞受精后形成二倍体的合子, 不均一的有丝分裂后形成一个顶细胞(ac)和一个基细胞(bc) (比例比 b~g 大);
b. 在原球胚阶段, 进一步的分裂导致基细胞形成胚柄(S), 顶细胞形成原球胚(胚体, EP); c~g. 原表皮层(Pd)发育成为成熟胚的表皮层(Ed), 胚根原(Hs)发育成为根分生组织(RM)。胚的顶端中央区域分化成为茎的分生组织(Sm)。球形胚阶段的基本分生组织(Gm)发育成为子叶(C)的贮藏薄壁组织细胞(P)。原形成层(Pc)形成成熟胚内的维管输导组织(V)。成熟种子中的胚轴(A)组织由根轴(胚根)、茎轴(胚芽)和下胚轴(H)组成。成熟期的胚被一层单个细胞厚的胚乳和一层薄的种皮包围着

Figure 1-1-5 Stages of development of the embryo of the dicotyledon *Arabidopsis thaliana* (I) as well as differential contrast interference (Nomarski) micrographs of embryogenesis *in situ* in developing *Arabidopsis thaliana* seeds, illustrating the early-, mid-, and late (overlapping) stages of development (II) (From Bewley et al., 2013)

a. After fertilization of the egg cell to form the diploid zygote, there is an uneven mitotic division to form an apical cell (ac) and a basal cell (bc). (larger scale than b-g). b. Further divisions lead to the formation at the preglobular stage of the suspensor (S) from the basal cell and the proembryo (embryo proper, EP) from the apical cell. c-g. The protoderm (Pd) develops into the epidermal layer (Ed) of the mature embryo and the hypophysis (Hs) into the root meristem (RM). The shoot meristem (Sm) differentiates from the apical-central region of the embryo. The ground meristem (Gm) of the globular stage develops into the storage parenchyma cells (P) of the cotyledons (C). The procambium (Pc) forms the vascular conducting tissue (V) within the mature embryo. The axis (A) tissues in the mature seed are the root axis (radicle), shoot axis (plumule) and hypocotyl (H). The embryo at maturity is surrounded by a one-cell-thick endosperm and a thin seed coat

胚发育初期, 单子叶植物与双子叶植物基本相同, 但在胚的分化过程中出现了差异。主要区别在于单子叶植物胚的子叶原基不均等发育, 胚发育成熟时只有一个明显的子叶(图 1-1-6)。无论是单子叶植物还是双子叶植物, 它们的成熟胚都