

第五章 植物的繁殖

主要教学内容：花的组成；花和花序的种类；花的生理功能；发育及生殖过程；果实的结构及发育；被子植物生活史。

重点和难点：花的形态结构、发育及生殖过程；掌握各种类型果实的特征；理解双受精过程及其生物学意义。

教学方式：课堂讲授 6 学时，实验 3 学时。教师多媒体讲授，动画讲解植物的生活史，野外观察等方式教学。

第一节 植物的繁殖

一、概念

二、类型

1. 营养繁殖是植物用其自身的一部分，如鳞茎、块茎、块根和匍匐茎等，自然地增加个体数的一种繁殖方式。低等植物的藻殖段、菌丝段等和高等植物的孢芽、珠芽、根蘖均可用来营养繁殖，农林生产中广为应用的扦插、压条、嫁接和离体组织培养等也属于营养繁殖。
2. 孢子繁殖是藻、菌、地衣、苔藓、蕨类等植物的一种普遍存在的繁殖方式。这些植物在生活史的某一阶段能产生一种具有繁殖能力的特化细胞----孢子，当孢子离开母体后，在适宜外界环境下便能发育成一新的植物体的繁殖方式。
3. 有性生殖是指植物在繁殖阶段产生两种生理、遗传等均不同的配子，经其结合形成合子，再由合子发育成新的植物体的生殖（或繁殖）方式，故又称配子生殖。被子植物的有性生殖过程中产生两种形态大小、生理功能、活性完全不同的两种配子即雄性的精子和雌性的卵子，精卵结合产生合子发育成胚，由胚发育成新的植株。

三、意义

四、植物的生活史与世代交替

第二节 花

一、花的组成部分

花是不分枝的变态短枝

花由花梗、花托、花被、雌蕊群、雄蕊群组成。

二、禾本科植物的花

禾本科植物的花被变态为浆片，因此无花萼和花冠，花由 2 枚浆片、3 或 6 枚雄蕊和 1 枚雌蕊组成；花及其外围的内稃和外稃组成小花；1 至多朵小花、2 枚颖片和它们着生的短轴（小穗轴）组成小穗。禾本科植物即以 小穗为单位组成各种花序。

三、花程式和花图式

花程式：用字母、符号和数字表明花各部分组成，排列，位置以及相互关系的公式

花图式：用花的横切面简图表明上述内容的叫花图式，能补充花程式不能完全显示的构造特征。

四、花序

1. 无限花序：在开花期内，花序轴顶端继续向上生长，产生新的花蕾，开放次序是花序轴基部的花先开，然后向顶端依次开放，或由边缘向中心开放，这种花序称无限花序。

总状花序，穗状花序，肉穗花序，伞房花序，伞形花序，柔荑花序：圆锥花序，复穗状花序，复伞型花序，头状花序，隐头花序

2. 有限花序 单歧聚伞花序，二歧聚花序，多歧聚伞花序。

■ 单歧聚伞花序：花序轴顶生一花，然后在顶花下面一侧形成一侧枝，同样在枝顶端生 1

朵花，侧枝上由可分枝着生花朵，如此连续分枝则为单歧聚伞花序。分枝在一侧的称为螺状聚伞花序。分枝左右交替生出称蝎尾状聚伞花序。

- 二歧聚伞花序：花序轴顶花先开，其后在下两侧同时产生两个等长的分枝，每分枝以同样的方式继续开花和分枝，如石竹、满天星、卫矛、大叶黄杨等。
- 多歧聚伞花序：序轴顶花先开，其下同时发出数个侧轴，侧轴多比主轴长，个侧轴又形成小的聚伞花序。若花序轴下面生有杯状总苞，则称杯状聚伞花序（大戟花序），是大戟科大戟属特有的花序类型，如京大戟、猫眼草、泽漆、甘遂等。

4. 轮伞花序

聚伞花序生于对生叶的叶腋成轮状排列，如益母草、薄荷等唇形科植物。

五、花各部分结构的多样性及其演化

第三节 被子植物的生殖结构与发育

一、雄性生殖器官的结构、发育和功能

(一) 雄蕊的组成

雄蕊由花药和花丝组成。雄蕊是由雄蕊原基发育而来的，经顶端生长和原基上部有限的边缘生长后，原基迅速伸长，上部逐渐增粗，不久即分化出花药和花丝两部分。

(二) 花药的发育和结构

花药由花粉囊和药隔组成。花药发育初期，结构简单，外层为一层原表皮，内侧为一群基本分生组织，不久，由于花药四个角隅处分裂较快，花药呈四棱形。以后在四棱处的原表皮下面分化出多列体积较大，核亦大，胞质浓，径向壁较长，分裂能力较强的孢原细胞(archesporial cell)。随后孢原细胞进行平周分裂，成内、外两层，外层为初生周缘层(primary parietal layer)；内层为初生造孢细胞(primary sporogenous cell)，初生周缘层细胞继续平周分裂和垂周分裂，逐渐形成药室内壁(endothecium)、中层(middle layer)及绒毡层(tapetum)。花药中部的细胞逐渐分裂，分化形成维管束和薄壁细胞，构成药隔。

表皮：花药壁的最外层，一层细胞构成。

药室内壁：位于表皮下方，为单层细胞。细胞较大，在横切面呈方形。除外切向壁外，其它各壁多产生不均匀的条纹加厚（纤维素），在后期，药室内壁又称为纤维层。在两侧两个花粉囊交接处，花药壁保持薄壁状态，成熟时导致花药开裂。有的植物花药不分裂（如一些水生植物）花药发育成熟后成为对花粉粒的形成和发育起重要的营养和调节作用。

中层：位于药室内壁的内方，1-3层细胞。花粉母细胞减数分裂时，中层细胞中储藏物质被消耗，并受到挤压而解体。

绒毡层：位于药室壁的最内层，细胞大，核大，初单核，后多核。细胞器丰富。分泌胼胝质酶，使四分体分离。合成的蛋白质参与花粉壁的形成，在花粉与雌蕊的相互识别中起作用。成熟花药中绒毡层细胞退化接解体。为花粉粒发育提供营养物质和结构物质。

(三) 小孢子的形成和减数分裂

1. 小孢子的形成

2. 减数分裂过程

(四) 花粉粒的形成、发育和形态结构

初生造孢细胞 → 花粉母细胞 → 四分体 → 单细胞花粉粒（核居中） → 二细胞花粉（营养细胞、生殖细胞） → 三细胞花粉（营养细胞1个，精子3个）（成熟花粉粒）

1、花粉粒形态：球形、三角形、椭圆形等。

2、花粉粒大小

3、花粉粒结构

外壁(exine)、内壁(intine)、花粉粒外壁(exine): 较厚, 硬而缺乏弹性。主要成分为孢粉素, 此外尚有纤维素、类胡萝卜素、类黄酮素、脂类及蛋白质, 所以花粉粒常呈现黄、橙色。外壁的雕纹变化很大, 常构成美丽的图案。这是孢粉学(Palynology)研究的主要内容。

(五)花粉败育和雄性不育

花粉败育: 花粉内在和外界因素的影响不能正常发育或不能起到生殖作用的现象。

雄性不育: 正常条件下植物花粉不正常发育的现象。

二、雌性生殖器官的结构、发育和功能

(一)胚珠的组成和发育

1、成熟胚珠的结构:

合点(chalaza): 珠心基部, 珠被、珠心和珠柄连合的部位。

珠心(nucellus): 胚珠中最重要的部分, 位于珠被内的薄壁组织, 其中产生大孢子, 进一步发育成胚囊。

珠被(integument): 包被珠心组织的结构, 有的植物可有外珠被(outer integument)和内珠被(inner integument)。

珠孔(micropyle): 珠被前端未闭合留下的小孔。

珠柄(funiculus): 胚珠基部着生于胎座上的小柄, 维管束经胎座进入胚珠。

2、类型

直生胚珠(orthotropous ovule): 胚珠各部均匀生长, 珠孔、珠心纵轴、合点和珠柄成一直线。

倒生胚珠(anatropous ovule): 胚珠倒转, 虽然珠孔、珠心纵轴、合点都在一直线上, 但珠孔向下靠近珠柄, 合点向上, 外珠被与珠柄贴合的部分很长, 形成一条外隆的纵脊, 其中有经珠柄引入的维管束, 此纵脊称为珠脊。倒生胚珠广泛存在于被子植物中。

横生胚珠(anphitropous ovule): 珠被一侧生长较快, 胚珠横卧, 珠孔、珠心纵轴和合点所连成的直线与珠柄成直角。

弯生胚珠(campylotropous): 胚珠下部直立, 上部略弯, 珠孔偏下, 珠孔、珠心纵轴和合点不在一直线上。

拳卷胚珠(ciclotropous ovule): 珠柄长并且弯曲包住胚珠。

3、胚珠的发育

胚珠的发育过程首先在胎座表皮下层的一些细胞经平周分裂, 产生一团突起, 成为胚珠原基。原基的前端成为珠心(nucellus)。珠心是一团相似的薄壁细胞, 原基的基部成为珠柄。由于珠心基部的表皮层细胞分裂较快, 产生一环状的突起, 逐渐向上生长扩展, 将珠心包围, 此包围珠心的组织即为珠被(integument), 仅在珠心的前端留下一小孔, 即珠孔。

(二)胚囊的发育和结构

1. 胚囊的发育

首先, 在胎座表皮下层的一些细胞经平周分裂, 产生一团突起, 成为胚珠原基。原基的前端成为珠心(nucellus)。珠心是一团相似的薄壁细胞。原基的基部成为珠柄(funiculus)。通常在靠近珠孔一端的表皮下, 逐渐形成一个与周围不同的细胞, 即孢原细胞(archesporial cell)。孢原细胞的体积较大, 细胞质较浓, 细胞器丰富, RNA 和蛋白质含量高, 液泡化程度低, 细胞核大而显著, 壁上具有很多胞间连丝。孢原细胞先进行一次平周分裂, 形成内、外两个细胞: 外侧的一个称为周缘细胞(parietal cell), 内侧的一个称为造孢细胞(sporogenous cell)。周缘细胞继续进行平周分裂和垂周分裂, 增加珠心的细胞层数, 而造孢细胞则长大形成胚囊母细胞。胚囊母细胞进行减数分裂的第一次分裂: 由于珠心基部的表皮层细胞分裂较快, 产生一环状的突起, 逐渐向上生长扩展, 将珠心包围, 仅在珠心的前端留下一孔。此包围珠心的组织即为珠被(integument)。减数分裂的二次分裂: 形成四分体。近珠孔端的3个细

胞退化。近合点端的细胞逐渐发育为单核胚囊。并从珠心组织中不断吸取营养物质，体积不断增大，细胞核也稍有增大，同时出现大液泡。以后单核胚囊进行三次有丝分裂形成八核胚囊。

2. 胚囊的结构

胚囊(embryo-sac): 是被子植物的雌配子体，由卵细胞、助细胞、极核和反足细胞组成的结构。

卵细胞是一个有高度极性的细胞，通常它的壁在珠孔端最厚，接近合点端的壁逐渐变薄。棉花、玉米等植物，其卵细胞合点端的壁消失，只有质膜与中央细胞的质膜为界。卵细胞核大，核仁的RNA含量高于胚囊中其他细胞，细胞内常有一个大液泡。核和细胞质等在卵细胞内的分布也常有明显的极性，如向日葵、烟草等植物卵细胞的细胞质通常集中在合点端，核也位于合点端，大液泡则居于珠孔端；成熟卵细胞中，质体和线粒体常退化，数量减少（棉花和向日葵除外），内质网及高尔基体也常变得稀少或不发达，反映出卵细胞代谢活动的强度是低的。小麦、玉米、百合、金盏菊等植物的卵细胞，常含大量淀粉粒，有的还有脂肪小滴和RNA等，它们可能用于卵细胞的受精和胚早期的发育。

助细胞与卵细胞在珠孔端排列成三角形。它们也是有高度极性的细胞。助细胞的壁和卵细胞一样，也以珠孔端为最厚，向合点端逐渐变薄。助细胞最突出的特征是在珠孔端的细胞壁上有丝状器(filiform apparatus)结构，它是壁向内延伸的部分，类似传递细胞壁的内褶突起。丝状器主要有果胶质、半纤维素及纤维素等组成。不同植物的组成常有变化。丝状器的结构，大大地增加了质膜的表面面积，这可能与助细胞的功能有关。

中央细胞是胚囊中最大的一个细胞，也是高度液泡化的细胞。成熟胚囊的增大，主要由于中央细胞液泡的膨大。中央细胞的壁厚薄变化很大，在与卵细胞和中央细胞相接处，通常只有质膜而没有细胞壁；而与反足细胞相接处，则具有胞间连丝的薄壁。不少植物中央细胞壁的内侧也有许多指状的内突，说明它能从珠心组织或珠被组织吸取营养物质，中央细胞的细胞质内在不少植物中发现含丰富的质体、核蛋白体、线粒体、高尔基体和内质网。中央细胞的极核或次生核常被许多细胞索悬挂在高度液泡化的细胞中间，极核通常很大，核仁也很大。

反足细胞是胚囊中一群变异最大的细胞，不仅细胞数目可差异很大，在细胞的结构上也因植物而有各种变化。一般在反足细胞与珠心细胞和中央细胞相邻处，通常为有一层电子透亮的、有纤丝组成的细胞壁。反足细胞具有从珠心吸收营养物质，经过反足细胞输入中央细胞的功能。大多数植物反足细胞的细胞质含丰富的质体、核蛋白体、线粒体、高尔基体和内质网。反足细胞是代谢活动非常活跃的细胞，对胚囊的发育具有吸收、传输和分泌营养物质的多种功能。除一些植物的反足细胞能存在较长的时间外，在多数植物中，它们通常是短命的，在受精前或受精后不久即退化。

第四节 开花、传粉和受精

一、开花：当花的各部分发育到一定阶段，雄蕊的花粉和雌蕊的胚囊已经成熟，或其中之一已达成熟，花被展开，雄蕊和雌蕊露出，这种现象称为开花

二、传粉：传粉(pollination)：成熟花粉子自花粉囊散出，并通过各种途径传送到雌蕊柱头上的过程。

1. 传粉的方式

自花传粉(self-pollination)

雌蕊的花粉粒自动落到同一花的雌蕊柱头上的传粉现象，如棉、番茄。在花未开放之前就完成了传粉和受精作用，这种现象称为闭花传粉或闭花受精(cleistogamy)，如落花生、豌豆。

异花传粉(cross-pollination)

雄蕊的花粉粒借助于风和昆虫等媒介传到另一朵花的雌蕊柱头上的传粉现象。

2. 传粉的媒介

风媒花的特征：多为单性花，单被或无被；花粉量多；柱头面大和有粘质等，如大麻、水稻等。

虫媒花的特征是：多为两性花，雌蕊和雄蕊不在同时期成熟；花有蜜腺，香气和鲜艳颜色，花粉量较少，花粉粒表面多具突起；花的形态构造多适应于昆虫传粉，如益母草、南瓜等。

三、受精*

受精作用(fertilization)即花内卵细胞和精细胞互相融合的过程。

在被子植物中含有精细胞的花粉粒经过萌发，形成花粉管，经过花粉粒与柱头间相互识别(recognition)后，并通过花粉管将精细胞送入胚囊中的卵细胞，才能使两性细胞相遇而结合，完成受精过程。

花粉管进入胚珠的方式有 3 种：珠孔受精 (porogamy)、合点受精(chalzogamy)、中部受精(mesogamy)。

四、双受精

传粉作用完成后，落在柱头上的花粉粒被柱头分泌的粘液粘住，以后花粉内壁在萌发孔处向外引伸，先穿过柱头，形成花粉管，然后经花柱而达子房。同时，花粉粒细胞的内含物注入花粉管中，并向花粉管顶端集中。此前，花粉粒的发育已由单核细胞分裂成 2 个细胞，其中的生殖细胞在移入花粉管后在分裂形成 2 个精子。花粉管进入子房后，一般通过珠孔进入胚囊（也有经过合点进入胚囊的）此时花粉管先端破裂，两个精子进入胚囊（这时营养细胞大多已经解体消失），其中 1 个精子与卵细胞结合将来发育成种子的胚，另一个精子与极核结合而发育成种子的胚乳。卵细胞和极核同时和两个精子分别完成融合的过程，是被子植物有性生殖的特有表现，称为双受精 (double fertilization)

意义：1、精卵融合保持了物种的遗传性的相对稳定性同时通过双亲具有差异的遗传物质重组，使合子具双重遗传性，为后代出现新变异提供了基础；

2、精子和极核融合形成三倍体的初生胚乳核，同样具双亲的遗传性，使子代生活力更强，适应性更广。

第五节 种子和果实

一、种子的形成

(一) 胚的发育

胚是由受精卵发育而成，该过程要经过两个阶段即 休眠阶段和原胚阶段。

休眠：卵受精后，产生一层纤维素的壁，便进入休眠状态。

原胚：胚在没有出现器官分化的阶段称为原胚。由原胚发展为胚的过程，在单，双子叶植物间是有差异的。

1、双子叶植物胚的发育

合子第一次横分裂形成开个小顶细胞（近合点端）和一个大的基细胞（近珠孔端）。基细胞经过多次横分裂形成胚柄，把胚本体推向胚囊内部，以利其吸收胚乳的营养物质。顶细胞经过纵分裂和横分裂形成二细胞原胚、四细胞原胚、八细胞原胚，再经各向分裂形成球形原胚、心形原胚。心形原胚的两侧继续分裂分化形成子叶，在凹陷的基部分化出胚芽。球形胚基部的细胞和与之相接的一个胚柄细胞分裂分化形成胚根，胚柄的其余细胞退化消失。

2、单子叶植物胚的发育

从合子至原胚的发育过程与双子叶的相似，以后只发育出一片子叶。小麦、水稻等禾本科植物的胚比较特殊。小麦合子的第一次分裂常是倾斜的横分裂，形成二细胞原胚。二细胞

原胚经过多次分裂形成梨形胚。在梨形胚上部的一侧出现凹沟。凹沟以上部分将来发育成盾片的大部分和胚芽鞘的大部分。凹沟下面（梨形胚的中部）发育成胚芽鞘的下部以及胚芽、胚轴、胚根、根冠、胚根鞘和外胚叶。凹沟的基部主要形成盾片的下部和胚柄。

（二）胚乳的形成

由受精极核发育为胚乳，受精极核没有或只有短暂的休眠期，有三种发育方式。核型胚乳、细胞型胚乳、沼生目型胚乳。

1、核型胚乳 胚乳发育过程有游离核时期，初生胚乳核最初的多次分裂只进行核分裂而不产生细胞壁，胚乳核呈游离状态分布在胚囊中，待发育到一定阶段才在细胞核之间产生细胞壁，形成胚乳细胞。

2、细胞型胚乳 胚乳发育过程无游离核时期，初生胚乳核的分裂及随后的多次分裂均产生细胞壁，形成胚乳细胞。

二、果实的形成和类型

（一）果实的形成与结构

开花、传粉、受精之后，花的各部分发生了不同的变化：胚珠发育成为种子，子房发育成为果实，花萼枯萎或宿存，花瓣、雄蕊、雌蕊的柱头和花柱均凋谢枯萎。

单纯由子房发育成的果实，称为真果，如花生、水稻、小麦、柑桔、桃、李等。真果结构包括果皮和种子两部分。果皮由子房壁发育形成，包在种子的外面，一般又分外果皮、中果皮、内果皮三层，由于各层质地不同而形成不同的果实类型。

由子房和花的其它部分如花托、花被筒甚至整个花序共同参与形成的果实称为假果。假果的结构比较复杂如苹果、梨的主要食用部分是由花托和花被筒合生的部分发育形成的，只有果实中心的一小部分是由子房发育而成。南瓜、冬瓜较硬的皮部是花托和花萼发育成的部分及外果皮，食用部分主要是中果皮和内果皮。西瓜的食用部分则主要是胎座。

（二）果实的类型 单果，聚合果，聚花果。

果实分为单果（simple fruit）、聚合果(aggregate fruit)、聚花果(复果)(collective fruit)三种类型。单果是花中只有一个雌蕊形成的果实，分为肉质果和干果。肉质果包括浆果、核果、柑果、梨果、瓠果等类型。干果分为裂果和闭果，裂果包括荚果、蓇葖果、角果、蒴果，闭果包括瘦果、颖果、翅果、坚果、分果(双悬果)。聚合果是一花内有若干个离生心皮形成的果实。聚花果为整个花序形成的果实。

第六节 被子植物的生活史

被子植物个体的生命活动，一般从上代个体产生的种子开始。经过种子萌发，形成幼苗，逐渐成长为具有根、茎、叶的植株。植株经过一段时间的营养生长，然后在一定部位形成花芽。在花芽发育成花朵时，雄蕊花药中的花粉母细胞经过减数分裂，产生单倍体的花粉粒，花粉粒萌发，形成两个精细胞（雄配子）；同时，在胚珠内形成胚囊母细胞，胚囊母细胞经过减数分裂产生胚囊，胚囊中又产生卵细胞（雌配子）、极核（或称中央细胞）等。这时，植株就开花、传粉和受精，其中一个精子与卵细胞融合形成合子（受精卵），随后，发育成胚；另一个精子与极核融合，形成初生胚乳核，最后发育成为胚乳；珠被发育为种皮。从而形成了新一代种子。"从种子到种子"这一整个生活历程，称为被子植物的生活史。稻、麦、棉花、番茄、南瓜、油菜等一年生和二年生植物，在种子成熟后，整个植株不久枯死。茶、桃、李、柑桔等多年生植物则经多次结实之后，才衰老死亡。

在被子植物的生活史中，都要经过两个基本阶段；一个是从合子开始，直到胚囊母细胞和花粉母细胞减数分裂前为止。这一阶段细胞内染色体的数目为二倍体（2N），称为二倍体阶段（或称孢子体阶段）。另一个是胚囊母细胞和花粉母细胞经过减数分裂形成成熟胚囊（雌

配子体)和2个或3个细胞的花粉粒(雄配子体)为止。这时,其细胞内染色体的数目是单倍体(N)的,称为单倍体阶段(或称配子体阶段)。被子植物的整个生活史的过程中,单倍体阶段极短,由二倍体阶段到单倍体阶段,必须经过减数分裂过程才能实现。二倍体阶段较长,由单倍体阶段到二倍体阶段的转折点,就是精卵融合为合子。所以,减数分裂和精卵融合(受精)是被子植物生活史中的重要环节和转折点。单倍体阶段不仅时间短,而且不能独立生活,须寄养于二倍体上以获得营养物质,来营造自身。

被子植物的生活史(life history):从种子到种子这整个生活历程称为生活史。

世代交替(alternation generation):无性世代和有性世代在生活史中有规律地交替的现象。

配子体世代(gametophyte):胚囊母细胞和花粉母细胞经过减数分裂形成成熟胚囊(雌配子体)和2个或3个细胞的花粉粒(雄配子体)为止。这时,其细胞内染色体的数目是单倍体(N)的,称为单倍体阶段(或称配子体阶段或配子体世代)

孢子体世代(sporophyte):从合子开始,直到胚囊母细胞和花粉母细胞减数分裂前为止。这一阶段细胞内染色体的数目为二倍体(2N),称为二倍体阶段(或称孢子体阶段或孢子体世代)