

## 第三章 种子和幼苗

被子植物是种子植物中进化程度最高的高等植物,其在结构上不仅有了组织分化,而且出现了根、茎、叶、花和果实等器官。器官(organ)是由多种组织构成的、具有一定形态和功能的结构单位。根据其主要功能不同可将植物器官分为营养器官和生殖器官。其中,营养器官(nutritive organ)是指那些主要与植物营养物质的吸收、合成、运输和贮藏(即营养生长)有关的器官,如根、茎和叶;而花、果实和种子与植物产生后代(即生殖生长)密切相关,称为生殖器官(reproductive organ)。

种子(seed)是由胚珠发育而来的生殖器官,其主要组成部分是胚(embryo)。胚由受精卵直接发育而来,可以说,早在种子离开母体植株时,新一代就已孕育在种子里面,并且已经完成了形态上的初步分化,成为新一代植物体的雏形。种子萌发后就形成了幼苗(seedling),幼苗继续生长形成具有根、茎和叶分化的植物体,以后的发育又形成了花、果实和种子。

### 第一节 种子的基本组成

种子的大小、形状和颜色等因植物种类不同而有较大差异。如椰子的种子很大,直径可达 15 cm,油菜、萝卜和芝麻等种子较小,而烟草和兰花种子更小;大豆和菜豆种子为肾形,豌豆和龙眼种子为圆球形;南瓜种子为白色,而荔枝为红褐色;棉花种子表面具长毛,而辣椒种子表面光滑无毛等。种子外形多样化,不仅用以鉴别植物种类,同时也是商品检验和检疫等方面的重要依据。

虽然植物种子外部形态千差万别,但其基本结构却是一致的,即种子外面都有种皮,内部都有胚,大多数植物种子内部还有胚乳或外胚乳。

#### 一、种皮

种皮(seed coat)是包被在种子最外面的结构,具有保护功能,可以保护种子内的胚,避免水分丧失、机械损伤和病虫害侵入,有些植物的种皮还与控制萌发的机制有关。种皮常由几层细胞构成,其性质和厚度因植物种类而异。有些植物种皮较薄,呈膜质或纸质,如桃、落花生和向日葵等,这些种子成熟后一直包在果实内,由果皮起保护种子的作用;有些植物种皮坚硬而厚实,如蚕豆、棉花和蓖麻等,这些植物的果实成熟后便自动开裂,种子散出,对种子内部结构的保护作用完全由种皮承担;有些植物种皮呈肉质可食如石榴;有些植物种皮与外围果皮紧密结合,共同保护着内部结构,如小麦和玉米等。

成熟种子的种皮上一般还有种脐(hilum)、种孔(micropyle)和种脊(raphe)等结构。种脐是种子成熟后与果实脱离时留下的痕迹。种孔是种子在胚珠时期的珠孔,种子吸涨后在种脐两侧轻轻挤压,有水从种孔溢出,种子萌发时,胚根首先从种孔处突破种皮。种脐另一端略为突起的部分是种脊,进入种子的微管束在此分布。种脐和种孔是植物种子都具有的构造,而种脊和种阜(caruncle)等则不是每种植物都有,而是与胚珠类型有关,如由直生胚珠发育的种子不具备种脊。种皮细胞常因含有色物质而使种皮呈现各种颜色;有的种子表皮还具有表皮毛等附属物,如棉花种皮上的纤维。

有些种子只具有一层种皮,而有些种子则具有内、外两层种皮,外层的叫外种皮,一般较厚,内层的称内种皮,一般较薄,如蓖麻种子的种皮。

#### 二、胚

胚(embryo)是构成种子最重要的部分,是新一代植物体的幼体。胚由胚芽(plumule)、胚轴(embryonal axis)、胚根(radicle)和子叶(cotyledon)4个部分组成。胚根和胚芽体积较小,胚根由根端生长点和根冠组

成;胚芽由茎端生长点和幼叶组成;连接胚根和胚芽的轴状结构为胚轴,胚轴较短,在种子中不显著。种子萌发时,胚轴随之生长、变长,成为植物幼根或幼茎的一部分。胚轴由子叶着生处到第1片真叶的一段为上胚轴,由子叶着生处到胚根的一段为下胚轴。实质上,胚是种子中的幼小植物体,或者说是新生植物体的雏形。

子叶是植物体最早的叶,不同植物种子的子叶在形态、数目及生理功能上各不相同。有些种子的子叶肥厚,贮藏大量的养料以供种子萌发和幼苗生长时利用,如蚕豆和花生的种子;而有些种子的子叶成薄片状,在种子萌发时分泌酶以消化胚乳中的养料,再吸收转运到胚里供胚利用,如小麦、玉米和蓖麻等的种子;有些种子的子叶在种子萌发后露出地面,进行短期光合作用以制造养分,供胚芽和胚根利用,如棉花和向日葵等的种子。每种植物种子中的子叶数目是一定的。被子植物种子内子叶数目有一枚的,也有两枚的。种子中具一枚子叶的被子植物称为单子叶植物,如小麦、玉米、水稻和竹子等;种子中具两枚子叶的被子植物称为双子叶植物,如棉花、大豆和落花生等。此外,裸子植物也是以种子进行繁殖的种子植物,其种子中的子叶数目有两枚的,如银杏和松柏等,也有多枚子叶的,如松和云杉等。

### 三、胚乳

胚乳(endosperm)位于种皮和胚之间,是种子内贮藏营养物质的场所,由贮藏组织构成,为胚的发育和生长提供营养。植物种子成熟后,有的具有胚乳,而有的无胚乳。无胚乳种子有两种情况:一种是种子在形成时根本不产生胚乳,如兰科、川苔草科和菱科等;另一种是种子在生长发育过程中,胚乳养料被胚吸收而转入子叶中贮藏,其子叶比较发达,如落花生和蚕豆等。

种子中的胚乳或子叶贮藏的营养物质主要有糖类、脂质和蛋白质,亦有少量无机盐和维生素。根据贮藏物质主要成分的不同,种子可分为淀粉类种子,如小麦、玉米和水稻等;脂肪类种子,如油菜、芝麻和花生等;蛋白质类种子,如大豆和蚕豆等。不同植物的种子所含营养物质种类和数量因植物种类而异,变化很大,如表3-1所示。

表3-1 几种常见作物风干种子的化学成分

单位:%

作物种类	水分	糖类(主要是淀粉)	蛋白质	脂肪	粗纤维	灰分
水稻	14.2	75.2	7.7	0.4	2.2	0.5
玉米	1.0	73.0	8.5	4.2	1.3	1.7
高粱(红)	9.0	72.5	9.9	4.7	1.8	2.5
(白)	13.7	64.0	11.4	5.0	1.6	3.0
小麦	15.0	66.1	13.2	2.0	1.8	1.9
大豆	9.0	25.0	39.2	17.4	4.2	5.0
花生	8.0	22.0	26.2	39.2	2.5	2.0
豌豆	8.0	58.0	24.6	1.0	4.5	2.9

少数植物种子在形成过程中,珠心未被完全吸收,一部分珠心组织保留下来,在种子中形成类似胚乳的营养组织,称为外胚乳(perisperm)。外胚乳也贮藏丰富的营养物质,如甜菜种子。外胚乳与胚乳来源不同,功能相同。

需要指出的是,裸子植物种子中的胚乳由雌配子体转化而来,为单倍体。被子植物种子中的胚乳由受精极核发育而来,为三倍体或多倍体。

## 第二节 种子的基本类型

根据种子成熟后是否具有胚乳,可将种子分为有胚乳种子和无胚乳种子两种类型。

### 一、有胚乳种子

有胚乳种子(albuminous seed)在种子成熟后具有胚乳,胚乳占据了种子的大部分,胚相对较小。种子由种皮、胚和胚乳3个部分组成。大多数单子叶植物和部分双子叶植物及裸子植物的种子都是有胚乳种子,如蓖麻、茄子、辣椒、小麦、玉米、水稻和松等。下面分别以蓖麻和小麦为例,介绍双子叶植物和单子叶植物有胚乳种子的结构。

(一) 双子叶植物有胚乳种子

蓖麻种子呈椭圆形，稍侧扁，具两层种皮，外种皮坚硬光滑，具斑纹，有黑色或红色两种颜色；在种子一端的海绵状突起称为种阜，是由外种皮延伸而形成，具有吸收和储蓄水分的作用，有利于种子萌发；种孔位于种阜下方，被种阜覆盖着；种脐不甚明显。在种子腹面中央有一长条状突起，称为种脊，其长度与种子几乎相等，是倒生或横生胚珠的珠柄与珠被愈合处在种子成熟后留在种皮上的痕迹。外种皮以内是一团白色结构，覆盖于其外层的是白色膜质半透明的内种皮，内方是含有大量油脂、占很大体积的白色胚乳。胚藏于胚乳中，只占种子中一小部分体积；在两片大而薄的子叶上可见有明显脉纹，两片子叶基部与短的胚轴相连，胚轴上方是胚芽，下方是锥形的胚根(图 3-1)。

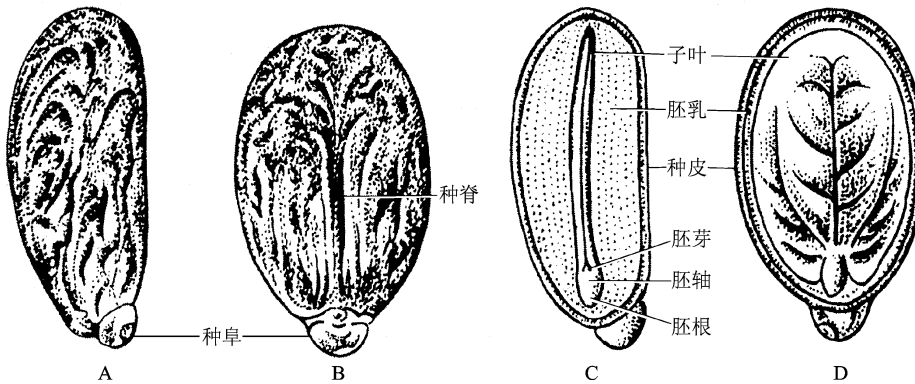


图 3-1 蓖麻种子结构

A. 种子外形侧面观 B. 种子外形腹面观 C. 与宽面垂直的正中纵切 D. 与宽面平行的正中纵切

(二) 单子叶植物有胚乳种子

以小麦和水稻为例来说明单子叶植物有胚乳“种子”(颖果)的结构(图 3-2, 图 3-3)。

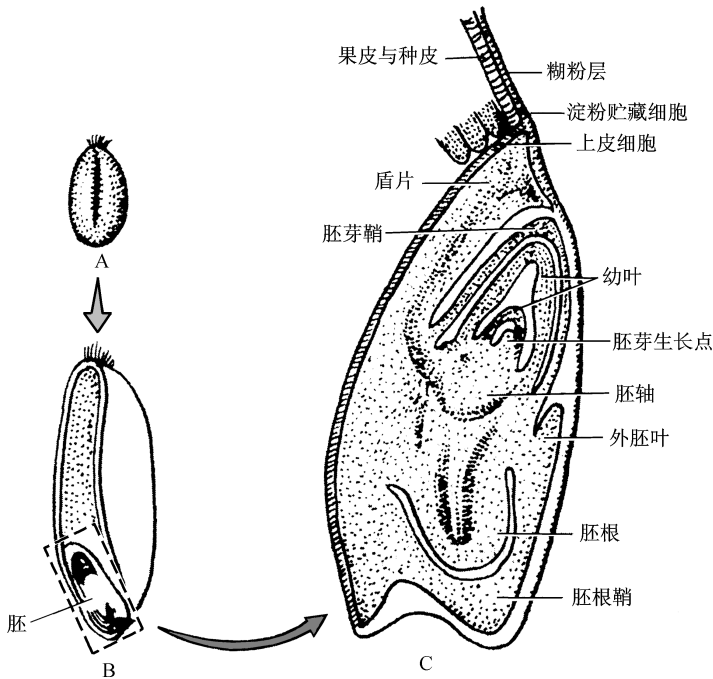


图 3-2 小麦颖果的结构

A. 颖果外形 B. 颖果纵切面 C. 胚纵切面

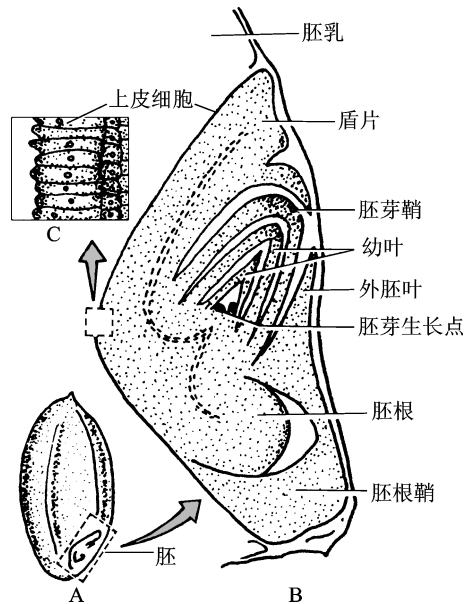


图 3-3 水稻颖果的结构

A. 水稻颖果外形(示胚的部分) B. 胚的纵切面 C. 上皮细胞

1. 种皮 一粒小麦或一粒稻谷俗称为种子，但一粒小麦或剥去谷壳的糙米，除种皮外，外面尚有果皮与之合生，小麦、水稻的果皮较厚，而种皮较薄，二者一般不易分离，故糙米或麦粒实际上是果实，在植物学上这

种果实称为颖果。

2. **胚乳** 从水稻和小麦的颖果纵切面看,胚和胚乳的界线很明显。果皮和种皮以内绝大部分是胚乳,胚甚小,仅位于其一侧基部。水稻和小麦的胚乳可分为两部分,紧贴种皮的为糊粉层,其余大部分是含淀粉的胚乳细胞。糊粉层细胞的层数因部位不同而异。

3. **胚** 水稻和小麦的颖果的胚处于子粒基部一侧,同样包括了胚芽、胚根、胚轴和子叶 4 个部分。胚芽位于胚轴上方,由生长点和包被在生长点之外的数片幼叶组成;包围在胚芽外方的鞘称为胚芽鞘(coleoptiles);胚根位于胚轴下端,由生长点和根冠组成,外方包被的鞘为胚根鞘(coleorhizae);胚轴较短,上接胚芽,下连胚根,侧面与子叶相连;子叶一片,着生于胚轴一侧,形如盾状,称为盾片(scutellum)。沿着盾片背面,中间有一条大维管束,其两侧各有数条小维管束。盾片与胚乳交界处有一层排列整齐的细胞,称为上皮细胞(或称柱形细胞)。当种子萌发时,上皮细胞分泌酶到胚乳中,把胚乳中贮藏的营养物质消化和吸收,并转移到胚的生长部位以供利用。胚轴在与盾片相对的一侧有一薄片状小突起,称为外胚叶(外子叶)。过去有人认为外胚叶是另一片子叶退化的结果,现在则趋向于认为是器官的一部分裂片,属于胚根鞘的延伸部分。

## 二、无胚乳种子

无胚乳种子由种皮和胚两部分组成。双子叶植物,如花生、西瓜和蚕豆等的种子,以及单子叶植物,如慈姑和泽泻等的种子,都属于这种类型。下面以蚕豆和慈姑的种子为例分别说明双子叶植物和单子叶植物无胚乳种子的结构。

### (一) 双子叶植物无胚乳种子

蚕豆种皮幼嫩时为绿色,成熟干燥后呈褐色,坚硬,浸水后转为革质。在种子宽阔一端有黑色盾状结构,为种脐,在种脐一端有一细小圆孔,即为种孔。将种子浸入水中待其吸水膨胀后,用手指稍加挤压,便可看见有水自此孔涌出,极易观察,此孔是种子在胚珠时期的珠孔,也是种子萌发时胚根突破种皮的位置。邻近种孔处隆起的种皮内方为胚根,种脐另一端与种孔相对处有一隆起的棱脊,称为种脊。剥去种皮可见内部的胚(图 3-4),包括以下几个部分:

1. **子叶** 子叶两枚,肥厚,扁平,相对叠合,内含丰富的营养物质。
2. **胚根** 在两枚子叶叠合处的胚轴一侧有一锥形小突起,即为胚根。
3. **胚芽** 分开两枚叠合的子叶,可见另一小结构夹在子叶之间,由几片幼叶包着中间的生长点。
4. **胚轴** 胚轴位于胚根和胚芽之间,和子叶相连。

### (二) 单子叶植物无胚乳种子

单子叶植物无胚乳种子除慈姑外,在农作物中较少见。慈姑的种子包在三角形瘦果中,较小(图 3-5)。种皮极薄,仅由一层细胞组成。剥去种皮,可见其中弯曲的胚,只有一枚子叶,无胚乳。

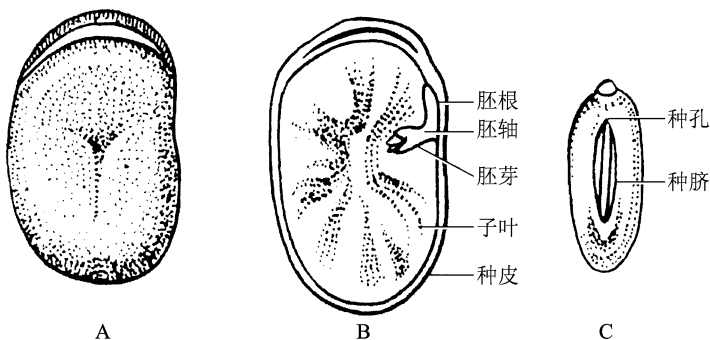


图 3-4 蚕豆种子

A. 种子外形侧面观 B. 切去一半子叶(示内部结构) C. 种子外形顶面观

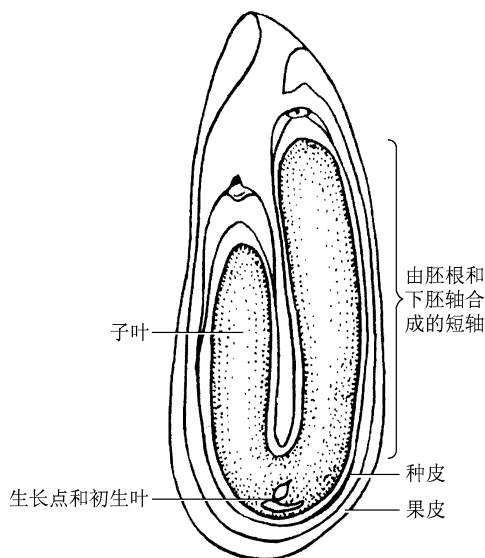


图 3-5 慈姑胚的结构

总结以上所述内容,典型种子基本结构可概括如下表:

种子基本结构	{ 胚	种皮……一般坚韧,为种子的保护层。禾本科植物的种皮和果皮不易分开
		胚芽……一般为生长点与幼叶所构成(有些植物无幼叶)。禾本科植物的胚芽外面有胚芽鞘包围
		胚轴……是连接胚芽、胚根和子叶的轴(包括上胚轴和下胚轴)
		胚根……由生长点和根冠组成。禾本科植物的胚根外面有胚根鞘
		子叶……双子叶植物的胚有子叶两枚,单子叶植物的胚只有一片子叶
		胚乳……是贮藏营养物质的组织。禾本科植物的胚乳分为糊粉层和淀粉贮藏组织。
		有些植物的胚乳在种子发育过程中为胚所吸收,形成无胚乳种子

### 第三节 种子的休眠和萌发

成熟种子在适当条件下,经过一系列同化和异化作用开始萌发,逐渐形成幼苗。农业生产上选择适当的播种期,采用各种播种、浸种和催芽等方法,就是为种子的萌发创造良好条件。

#### 一、种子萌发的条件

成熟、干燥的种子,在没有取得一定外界条件时,是处于休眠状态的,这时,种子的胚几乎完全停止生长。一旦休眠种子解除了休眠,并获得了合适的环境条件,处在休眠状态下的胚就转入活动状态,开始生长,这一过程称为种子萌发(seed germination)。萌发所不可缺少的外界条件是充足的水分、适宜的温度和足够的氧气;有些种子萌发时,还需要一定的光照。

##### (一) 水分

干燥种子含水量很低,一般只有种子总质量的5%~10%,其内部细胞质呈凝胶状态,生理代谢活动微弱,在这样条件下,很多重要的生命活动无法进行。因此,种子要萌发,恢复其正常生命活动,就必须吸收足够的水分。水分在种子萌发过程中所起的作用是多方面的:① 种子浸水后,使坚硬的种皮膨胀柔软,增强对氧气和二氧化碳等物质的透性,既有利于胚进行旺盛呼吸,也有利于胚根和胚芽突破种皮。② 水分使细胞质从凝胶状态变为溶胶状态,各种酶也由钝化状态变为活化状态,有利于呼吸、物质转化和运输等活动的加快。③ 水分参与了复杂贮藏物质的分解,并能促进分解产物运送到正在生长的幼胚中,为幼芽和幼根的细胞分裂和伸长提供了足够的养分和能源。

种子萌发的吸水过程分为3个阶段:开始是种子内胶体物质所引起的急剧吸水过程,为吸胀吸水的物理过程,与种子代谢作用无关;随后是吸水停滞期,这时种子内代谢活动增强;当胚根突破种皮,幼胚迅速增大时又再次急剧吸水,此时为渗透吸水的生理过程。

不同种子萌发时的吸水量并不一致,一般种子要吸收其自身质量的25%~50%或更多水分时才开始萌发。如小麦为56%,玉米为44%,棉花为52%,油菜为48.3%,大豆为120%,豌豆为186%等,这主要是由于种子内贮藏养料的性质不同造成的。如大豆和豌豆等种子含蛋白质较多,而蛋白质具强烈的亲水性,即蛋白质需吸收较多水分才能被水饱和;脂肪是疏水性物质,所以含脂肪多的种子吸水量较小,如油菜和花生等;一般含淀粉多的种子吸水量不大。另外,种子萌发所需的吸水量,也与各种植物长期对某种环境的适应性及遗传性有关。种子也能吸收空气中的水分,如果大气湿度相当高,几乎达到饱和点时,成熟种子能在植株上或空气中萌发,这种现象在谷类和豆类等作物中有时可以见到。

因此,植物在播种前后要保证水分供应,以促进种子萌发、幼苗出土和出苗整齐。但是,如果水分过多,会引起氧气缺乏,种子进行无氧呼吸,产生二氧化碳和乙醇,进而毒害种子,并出现烂种、烂根或烂芽现象。

##### (二) 温度

种子萌发时内部进行着极其复杂的物质和能量转化,包括贮藏物质的降解过程和降解产物合成新细

胞物质的过程。这些过程需要多种酶的催化作用才能完成,而酶的催化活动必须在一定温度范围内进行。

一般来讲,一定范围内温度的升高可以增强酶的活性,提高其催化能力;降低温度,酶的活性则会减弱,降低其催化能力。当低于某一温度时,酶的活性几乎完全丧失,该温度被称为最低温度。酶本身是一种蛋白质,过高温度会破坏酶的结构,使其失去催化能力。所以,种子萌发对温度的要求表现出3个基点,即最低温度、最高温度和最适温度。最低和最高温度是两个极限温度,低于最低温度或高于最高温度,都能使种子失去萌发力,只有最适温度才是种子萌发的最理想的温度条件。几种常见作物种子萌发的温度范围见表3-2。

表 3-2 常见作物种子萌发的温度范围

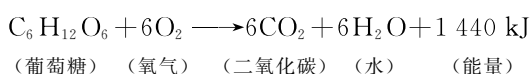
单位:℃

植物种类	最低温度	最适温度	最高温度
小麦、大麦	0~4	25	32
玉米	5~10	35	44
水稻	10	30	43
棉花	12	27~36	40~45
黄瓜	15~18	31~37	44~50
大豆	8~10	24~29	35~40
甘蔗	0~3	15~20	40~44

不同植物种子萌发时所需的温度条件不尽相同,这是植物生长在某一地区(南方或北方)长期适应的结果,是由这种植物的遗传特性决定的。一般来讲,原产南方的作物,如水稻子粒萌发所需的温度较高;而原产北方的作物,如小麦子粒萌发所需的温度较低。种子萌发温度三基点是农业生产上适时播种的重要依据,选择适当季节播种,过早或过晚都会对种子造成影响,使植株不能正常生长。

### (三) 氧气

种子萌发时,一切生理活动都需要能量供应,而能量的来源是呼吸作用。种子在呼吸过程中要吸入氧气,把细胞内贮藏的营养物质(如葡萄糖)逐步氧化、分解,经过复杂变化,最后生成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O,并释放能量,以供各种生理活动。呼吸作用可用下列反应式简单表示:



所以,种子开始萌发时,呼吸作用强度显著增加,因而需要更多氧气的供应。如果氧气不足,正常呼吸作用就会受到影响,胚不能生长。例如,高粱、花生、棉花或其他作物的种子,完全浸没于水中或埋藏在坚实土层深处,往往不能萌发,主要是因为得不到氧气供应的缘故。大多数种子需要空气含氧量在10%以上才能正常萌发,但种子需氧程度又因其化学成分不同而有所不同。如脂肪含量较高的种子在萌发时需氧量比淀粉类种子要高。

种子萌发所需要的氧气通常是从土壤空隙中得到的。在农业生产中,作物播种前的松土就是为种子萌发提供呼吸所需的有氧环境。因此,在播种、浸种和催芽过程中应加强人工管理,控制和调节氧气供应,使种子正常萌发。

### (四) 光照

一般来说,光照和黑暗对种子萌发没有影响。但有些种子,如莴苣和烟草的种子需要在一定光照下才能萌发,这类种子称为喜光(或需光)种子。相反,一些种子,如茄子、番茄、苋菜、黄瓜和西葫芦等的种子,在光照下其萌发反而受到抑制,只有在相对长的黑暗条件下才能萌发,故这类种子称为喜暗(或需暗)种子。

在研究喜光种子(莴苣)萌发时,人们发现了一个有趣的现象(表 3-3),即当用波长为 660 nm 的红光照射种子时,会促进种子萌发;而当用波长为 730 nm 的远红光照射种子时,则会抑制种子萌发;在红光照射后,再用远红光处理,种子的萌发也受到抑制,即红光作用被消除了;如果用红光和远红光交替多次处理,则种子发芽状况取决于最后一次处理的是哪种波长的光。这种现象与种子体内存在的光敏色素有关。

## 二、种子萌发的过程

发育正常的种子在适宜的条件下开始萌发,通常是胚根先突破种皮向下生长,形成植物体的主根,然后,胚芽突破种皮向上生长,伸出土面形成植物体的茎和叶,并逐渐形成幼苗。该过程可归纳如下:

(1) 种子从外界环境中吸收足够水分后,原来干燥、坚硬的种皮逐渐变软。水分继续源源不断向胚乳和胚细胞渗入,整个种子因吸水而膨胀,最终将种皮撑破。吸水后的种皮增强了对氧气和二氧化碳的渗透性,有利于呼吸作用进行。

(2) 胚细胞里有各种酶,种子吸水后,在一定温度条件下,酶的活动加强,将贮藏在胚乳或子叶中的大分子糖类分解成简单的小分子可溶性物质,运往胚根、胚芽和胚轴等部分,以供细胞呼吸利用。

(3) 种子的胚细胞吸收了这部分养料,细胞体积开始增大,经过细胞分裂,细胞数目增多,使胚根、胚芽和胚轴很快生长起来。

(4) 经过一系列生长过程,种子里的胚根和胚芽迅速伸长。在一般情况下,胚根首先突破种皮向下生长形成植物体主根。种子萌发过程中先形成根是具有生物学意义的,因为根发育较早,可以使早期幼苗固定于土壤中,及时从土壤中吸取水分和养料,使幼小植物体能够很快独立生长。

(5) 胚根伸出不久,胚轴细胞也相应地生长和伸长,把胚芽或胚芽连同子叶一并顶出土面。胚轴将胚芽推出土面后,胚芽很快发展为新植物体地上部分的茎叶系统。有些植物的种子,子叶随胚芽一起伸出土面,展开见光后转为绿色,便开始进行光合作用,待胚芽的幼叶张开行使光合作用后,子叶不久也就枯萎脱落。至此,一株能独立生活的幼小植物体全部长成。

由此可见,由种子开始萌发到幼苗形成这一阶段的生长过程,所需的营养主要来源于种子内部贮藏的有机养料。

## 三、种子的休眠

种子成熟后的一段时间,即使在适宜条件下也往往不能立即萌发,必须经过一个阶段后才能萌发,这一现象称为种子休眠(dormancy)。种子休眠是植物个体发育过程中的一个暂停现象,是植物经过长期演化而获得的一种对环境条件及季节性变化的生物学适应性。

一般来说,种子休眠有两种情况:一种是种子已具有发芽能力,但因得不到发芽所必需的基本条件而被迫处于静止状态,此种情况称为强迫休眠。一旦外界条件具备,处于强迫休眠的种子即可萌发。这类种子的休眠期很短或几乎没有休眠期,如水稻、小麦、豌豆和芝麻等。在成熟期间常发生在植株上的种子萌发现象,严重影响了种子的品质和产量,造成很大的经济损失。另一种是种子本身还未完全通过生理成熟阶段,即使供给合适的发芽条件仍不能萌发,此种情况称为深休眠或生理休眠。这类种子的休眠期较长,需要数周乃至数月或数年,如银杏、毛茛和松等。

种子休眠的主要原因有以下几个方面:

(1) 由于种皮阻碍了种子对水分和空气的吸收,或是种皮过于坚硬使胚不能突破种皮向外伸展。这类种子的种皮极其坚韧,含有角质、角质层或酚类化合物,不易使水分透过,对氧气的渗透作用也极微弱。如豆

表 3-3 红光(R)和远红光(FR)的反复照射对莴苣种子萌发的影响(在 26 °C 下连续以 1 min 的红光和 4 min 远红光照射)

照 射	发芽率/%
R	70
R+FR	6
R+FR+R	74
R+FR+R+FR	6
R+FR+R+FR+R	76
R+FR+R+FR+R+FR	7

科和锦葵科的某些属种,以及苍耳等种子具有这种性质。苋属成熟种子的种皮虽然不阻碍水分吸收,但因种皮十分坚硬,生活的胚还是无法突破种皮而出。对于这类种子可以用机械方法擦破种皮,或是用浓硫酸作短时间处理,再用清水洗净,使种皮软化,水分便可顺利渗入种子内部。此外,将种子先在冷水中浸泡 12 h,然后在沸水中放 30~60 s,就可以打破休眠,促进萌发。对于苋属等种皮特别坚硬的种子,可采用冷冻或利用土壤微生物的作用使种皮渐次软化,达到萌芽目的。

(2) 由于种子内的胚尚未成熟,或种子的后熟作用。有些植物种子在脱离母体时,胚体并未发育完全,或胚在生理上尚未全部成熟,这类种子即使环境条件适宜也不能萌发成长。如银杏、毛茛和紫堇等植物的种子或果实脱离母株时,胚还没有充分发育成熟,需要经过一段休眠时期,等胚充分成熟后才能萌发。有的种子胚虽已成熟,但在适宜条件下仍不能萌发,如一些原在温带地区生长的植物,种子需要在湿度大、温度低(一般 0~6 ℃)的条件下,经过数周以至数月后才能萌发,这一现象称为种子的后熟作用(after-ripening)。目前已知,种子的休眠和萌发主要是由脱落酸(ABA)和赤霉素(GA)两种植物激素来调节,前者导致种子休眠,后者导致种子萌发。休眠种子中常含有高浓度的脱落酸,抑制了催化种子内贮藏物质水解的酶,因而阻碍种子萌发;而赤霉素则促进水解酶的形成,导致贮藏物质转化为可溶性小分子物质,从而解除了休眠。所以,处理这类种子的有效办法是将种子、土壤和泥炭分层铺设(一层种子,一层土壤,一层泥炭),放在室外暴露过冬,种子在低温的长期作用下,脱落酸含量逐渐减少或者与之相拮抗的赤霉素含量相对增多,经过一定时期,二者间的矛盾便发生转化,有利于萌发开始。低温处理的时间视植物种类、种皮情况、种子内水分含量以及外界环境中 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 等因素而定。一般在 0~6 ℃低温下,经过 2~3 个月即可。在生产实践中,有时为了赶季节,必须采用各种方法人为打破休眠,促进种子萌发,如人工施用赤霉素处理等。对胚未曾全部成熟或胚体根本没有发育的种子,也可采取适当的高温处理,或供给种子以有机营养的办法,促使其早日成熟。

(3) 由于某些抑制性物质的存在,阻碍了种子萌发。抑制种子萌发的物质有有机酸、植物碱和某些植物激素,以及某些经分解后能释放氨或氰类的有机物。这类物质有的产生在种子内部——胚,有的存在于果实的果肉或果汁中,只有消除了这些抑制性物质,才能使种子正常萌发。番茄、柑橘或瓜类的种子不可能在果实内萌发,只有在脱离果实后才能萌发,就是这个原因。也有一些抑制萌发的物质存在于土壤里,在多数情况下,这类物质是由落叶腐烂后带入土中,经过几场春雨或几次阵雨后,冲走了土壤里的这类物质,才能为种子萌发提供适宜条件。如某些沙漠植物。

## 第四节 幼苗的类型

不同植物种子在萌发时,由于胚体各部分,特别是胚轴部分生长速度不同,长成的幼苗在形态上也不一样。常见的幼苗分为子叶出土幼苗(epigeal seedling)和子叶留土幼苗(hypogeal seedling)两种类型。

### 一、子叶出土幼苗

双子叶植物无胚乳种子,如大豆、棉、油菜和各种瓜类的幼苗,以及双子叶植物有胚乳种子,如蓖麻的幼苗等都属于这一类型。这类植物的种子在萌发时,胚根先突破种皮伸入土中,形成新生植物体的主根,然后下胚轴迅速伸长,将子叶和胚芽一起推出土面(图 3-6),所以这类植物幼苗的子叶是出土的。大豆等种子的肥厚子叶,继续把贮藏的营养物质运往根、茎、叶等部位,直到营养消耗完毕,子叶干瘪脱落;棉等的种子子叶较薄,出土后立即展开并变绿进行光合作用,待真叶伸出,子叶才枯萎脱落。这种萌发方式为出土萌发。

蓖麻的种子萌发时,胚乳内的营养物质经分解后供胚发育利用,随着胚轴伸长,将子叶和胚芽推出土面时,残留的胚乳附着在子叶上,一起伸出土面,不久就脱落消失(图 3-7)。



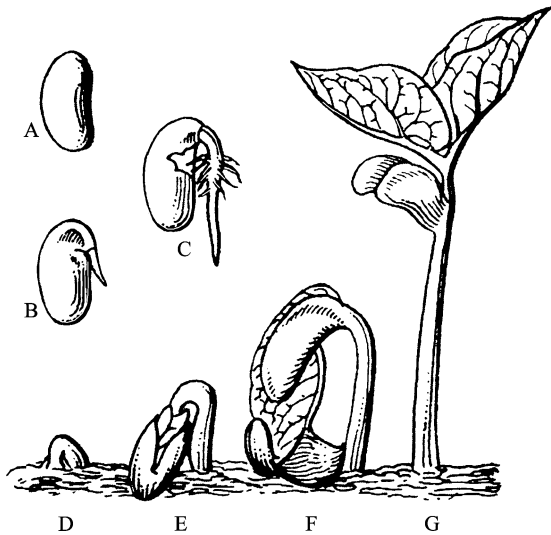


图 3-6 大豆种子的萌发

- A. 大豆种子 B. 种皮破裂, 胚根伸出 C. 胚根向下生长, 并长出根毛 D. 种子在土中萌发, 胚轴突出土面 E. 胚轴伸长, 牵引子叶脱开种皮而出 F. 子叶出土, 胚芽长大 G. 胚轴继续伸长, 两片真叶张开, 幼苗长成

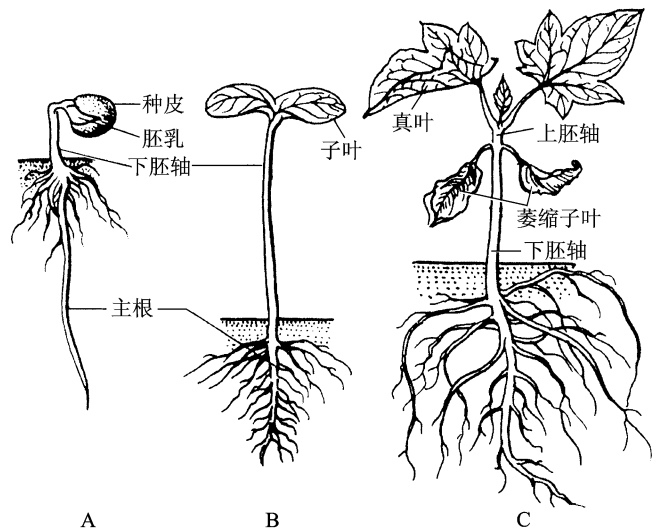


图 3-7 苘麻幼苗

- A. 萌发早期, 开始形成根系 B. 萌发后期, 子叶展开 C. 幼苗外形

单子叶植物洋葱的种子萌发所形成的幼苗虽然也是子叶留土幼苗, 但其萌发及幼苗形成过程比较特殊。当种子开始萌发时, 子叶下部和中部伸长, 将根尖和胚轴推出种皮之外, 以后子叶很快伸长露出种皮之外, 呈弯曲的弓形。这时, 子叶先端仍被包在胚乳内吸收养料。以后种子进一步生长, 弯曲的子叶逐渐伸直, 并将子叶先端推出种皮之外, 待胚乳养料被吸收尽, 干瘪的胚乳也就从子叶先端脱落下来。同时, 子叶出土后逐渐转变为绿色, 进行光合作用。此后, 第 1 片真叶从子叶鞘裂缝中伸出, 并在主根周围长出不定根。在土壤不够坚实的情况下, 当子叶生长伸直时, 种皮会被子叶先端带出土面(图 3-8)。

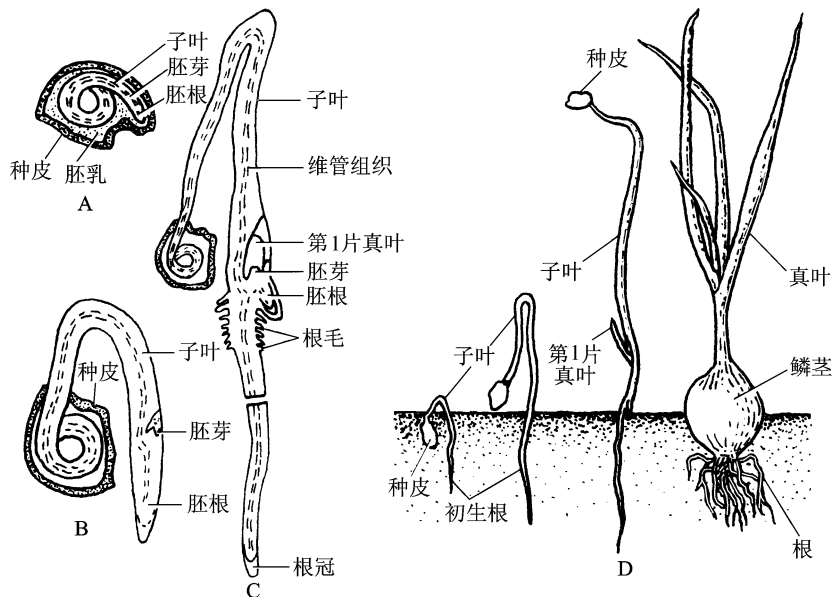


图 3-8 洋葱种子萌发, 形成子叶出土幼苗

- A. 种子纵切面 B. 萌发种子纵切面 C. 早期幼苗纵切面 D. 子叶出土及幼苗形成过程

## 二、子叶留土幼苗

双子叶植物无胚乳种子,如蚕豆、豌豆、荔枝和柑橘等,有胚乳种子,如三叶橡胶树,以及单子叶植物种子,如小麦、玉米和水稻等的幼苗,都属于这种类型。这些植物种子萌发的特点是下胚轴不伸长而上胚轴伸长,所以子叶或胚乳不随胚芽伸出土面,而是留在土中,直到养料耗尽死去。如蚕豆种子萌发时,胚根先突破种皮向下生长,成为新生植物体的主根;由于上胚轴伸长,胚芽不久被推出土面,而下胚轴伸长不大,所以子叶不被顶出土面,而始终埋在土里(图 3-9)。玉米种子的萌发和幼苗形态可参见图 3-10。

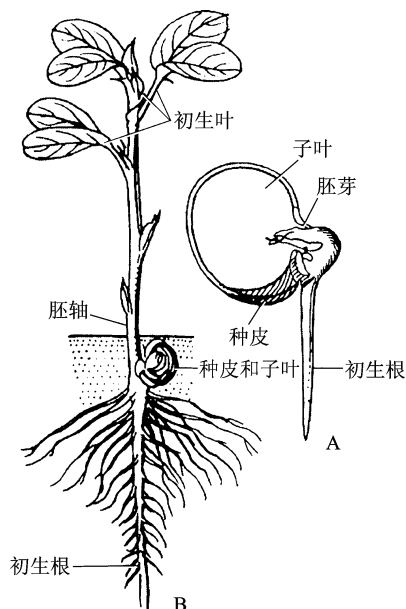


图 3-9 蚕豆种子留土萌发  
A. 种子萌发初期 B. 成长的幼苗

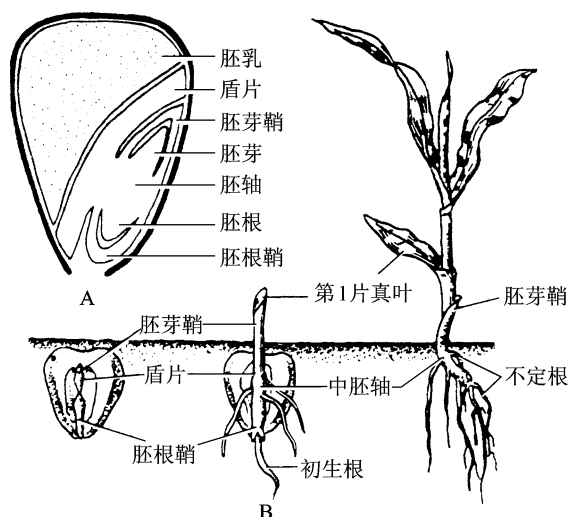


图 3-10 玉米种子留土萌发  
A. 种子(子实)纵切面 B. 子叶留土幼苗形成过程  
(引自 Raven)

花生种子的萌发兼有子叶出土和子叶留土的特点。它的上胚轴和胚芽生长较快,同时下胚轴也相应生长。所以,播种较深时则不见子叶出土;播种较浅时可见子叶露出土面(图 3-11)。

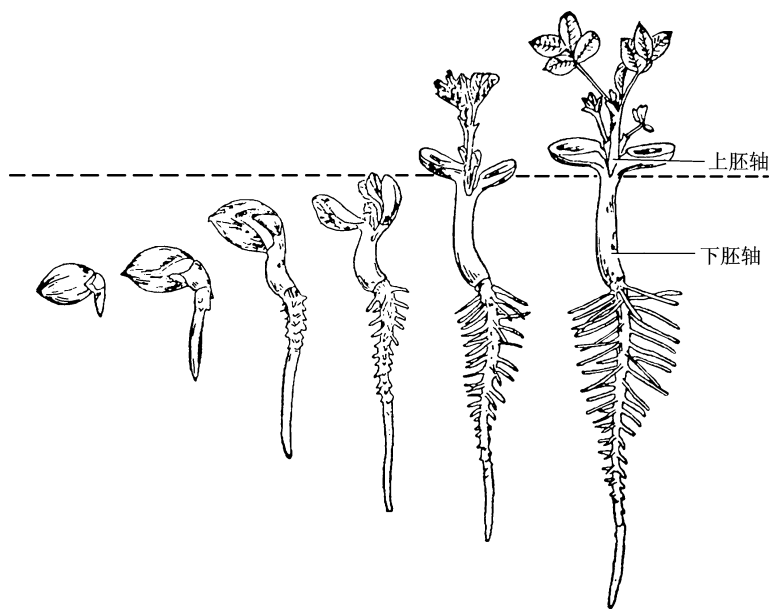


图 3-11 花生种子的萌发过程

在农业生产上应注意掌握两种类型幼苗种子的播种深度。一般来说,子叶出土幼苗的种子要浅播,但也要看各种作物下胚轴顶土力的情况,如棉花的顶土力较弱要浅播,菜豆的顶土力较强要深播一些。而子叶留土幼苗的种子播种要稍深。另外,也要根据种子大小、土壤湿度等条件综合考虑播种措施。

## 第五节 人工种子

人工种子,就是将植物组织培养产生的体细胞胚或不定芽包裹在能提供养分的胶囊里,在胶囊外包上一层具有保护功能和防止机械损伤的外膜,制成一种代替天然种子的颗粒体。自著名植物组织培养学家 Murashige(1978)提出人工种子设想与 Reden-baugh 制造出第一批人工种子以来,已有许多国家的植物基因公司和大学实验室从事这方面研究。欧共体将人工种子研制列入“尤里卡”计划,我国也于 1987 年将其列入国家高新技术研究与发展计划(863 计划)。经过 20 多年努力,人工种子研究已取得了很大进展。

人工种子主要由三部分构成,最外面为一层起保护作用的有机薄膜包裹,即人工种皮;中间为胚状体等培养物所需的营养成分和一些植物激素;最里面为胚状体(体细胞胚)或芽。

人工种子本质上属于无性繁殖,与天然种子相比具有以下优点:① 可对一些自然条件下不结实或种子很昂贵的植物进行繁殖。② 固定杂种优势,使  $F_1$  杂交种可多代利用,使优良单株能快速繁殖成无性系品种,从而缩短育种年限。③ 节约粮食。因为人工种子作为播种材料,在一定程度上可取代部分粮食(种子与块根茎)。④ 在人工种子包裹材料里加入各种生长调节物质、菌肥和农药等,可人为影响和控制作物生长发育和抗性。⑤ 可以保存及快速繁殖脱病毒苗,克服某些植物由于长期营养繁殖所积累的病毒病等。⑥ 与试管苗相比,成本低,运输方便(体积小),可直接用于播种和机械化操作。

从 20 世纪 80 年代用聚乙烯包埋胡萝卜体细胞胚,到现在采用藻酸钠凝胶包埋,已经使人工种子在无菌条件下成苗率达 75%~96%。人工种子的研究已在胡萝卜、芹菜、玉米、百合、番茄、西洋参、水稻和山茶等 30 多种植物上获得成功。尽管目前人工种子技术的实验室研究工作已取得较大进展,但是人工种子还远不能像天然种子那样方便、实用和稳定。这是因为:① 许多重要植物目前还不能靠组织培养快速产生大量的、出苗整齐的、高质量的体细胞胚或不定芽。② 包埋剂的选择及制作工艺方面尚需改进,以提高体细胞胚到正常植株的转化率,并达到加工运输方便和防干防腐耐贮藏的目的。③ 在如何进行大量制种和大田播种,以及如何实现机械化操作等方面的配套技术尚需进一步研究。由于人工种子是由组织培养产生的,需要一定时间才能很好地适应外界环境,因此,人工种子从播种到长成自养植株这一阶段的管理非常重要,在推广之前必须经过田间试验,并对栽培技术及生物学性状进行研究。

### ■ 本章小结

种子是种子植物的繁殖器官,与植物繁衍后代有密切关系。种子基本结构包括种皮、胚和胚乳 3 个部分。

(1) 种皮:是包被在种子外层的保护层,禾本科植物子粒的种皮与果皮紧密愈合不能分开。

(2) 胚:是种子的主要部分,一般由胚芽、胚轴、子叶和胚根 4 个部分组成。胚芽由生长点和幼叶(也有缺少幼叶的)组成,禾本科植物种子胚芽被胚芽鞘包围;胚轴是连接胚芽和胚根的短轴,也与子叶相连;胚根由生长点和根冠组成,禾本科植物种子胚根外有胚根鞘包围;子叶 1 枚、2 枚或多枚(裸子植物),禾本科植物的子叶称为盾片。

(3) 胚乳:是种子贮藏营养物质的组织。有胚乳种子胚乳发达;无胚乳种子的胚乳养料早期为胚吸收,养料转入子叶中贮藏。有些植物种子中还具有外胚乳。

根据种子中是否有胚乳,可将种子分为有胚乳种子和无胚乳种子两种类型。

有些植物的种子在适宜环境条件下,仍不能进入萌发阶段,而必须经过一定时间的休眠才能萌发,种子的这一现象称为休眠。

种子的胚从相对静止状态转入生理活跃状态,开始生长并形成幼苗,这一过程称为种子萌发。种子萌发的前提是种子已成熟并具有生活力。

种子萌发的主要外界条件是充足的水分、足够的氧气和适宜的温度。少数植物种子萌发还受光照影响。种子萌发时首先是胚根突破种皮形成新一代植物体的主根,接着由胚芽突破种皮而形成新一代植物体的茎和叶,从而形成一株幼苗。幼苗一般分为子叶出土幼苗和子叶留土幼苗两种类型,这是由于种子萌发时上胚轴和下胚轴的不等速生长造成的。

## ■ 复习思考题

1. 列表说明种子的基本结构,为什么说胚是种子最重要的部分?
2. 简述种子休眠的原因及打破休眠的方法。
3. 试分析种子萌发所需要的内因和外部条件?
4. 简述种子萌发后,种子各部分的活动去向。
5. 试述人工种子的应用及发展前景。