

全国高等农业院校教学参考书



农学类专业用

农作物器官建成

余德谦 朱旭彤 编著

农业出版社

全国高等农业院校教学参考书

农作物器官建成

余德谦 朱旭彤 编著

农学类专业用

农业出版社

(京)新登字060号

全国高等农业院校教学参考书

农作物器官建成

余德谦 朱旭彤 编著

* * *

责任编辑 张兴瓚

农业出版社出版(北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 10.5印张 242千字
1992年5月第1版 1992年5月北京第1次印刷
印数 1—2,000册 定价 3.85元

ISBN 7-109-02111-4/S·1390

内 容 提 要

本书融植物学、植物生理学、植物生态学和作物栽培学的有关知识为一体，论述了农作物在生产条件下器官分化、生长和建成的基本规律及其与产量形成的关系，并密切联系实际，提出了调节各器官生长发育以达到高产优质目的的农业技术原则，是植物学等学科与作物学之间的边缘学科，具有综合性和实用性特点。

全书共分九章，前八章分别叙述各器官的形态结构、形成过程及其与自然环境和栽培条件的关系；第九章论述各器官生长的相关关系。

本书是全国高等农业院校农学类专业的教学参考书，亦可供生物系师生、中等农业学校教师、农业科技人员等阅读参考。

编 者 的 话

种植农作物的目的是为了获得高产优质的产品，这些产品都是不同的器官，例如稻、麦、玉米、油菜、花生、大豆等的子实，棉花的种子纤维，甘薯、甜菜的块根，马铃薯的块茎，甘蔗的茎，红麻、黄麻中的韧皮纤维，烟草、甜叶菊的叶等。这些产品器官又是在农作物各器官分化、生长和协调发展的基础上形成的。因此，深入了解和掌握农作物各器官分化、生长和建成规律及其与环境条件的关系，是正确制定农业技术措施，提高农作物产量和品质的重要科学依据。

关于农作物器官生长发育的规律，已有不少学科如普通植物学、植物生理学、植物生态学和作物栽培学等从不同角度分别进行了论述，并形成了各自完整的学科体系。但随着科学技术和农业生产的发展，如何加强这些学科之间的联系，促使相互渗透、相互交叉，形成一些新兴边缘学科，是现代农业教育、科研和生产的迫切要求。

《农作物器官建成》一书就是基于这一认识而编写的，是一本具有边缘学科性质的教学参考书。旨在以器官建成为中心，融合有关基础知识和专业知识于一体，构成农作物器官建成较完整的学科体系，为作物高产栽培提供理论和实践的依据。为此，我们在编写过程中，除力求全面反映植物学、植物生理学、植物生态学和作物栽培学有关器官形态建成的基本知识和最新研究成果外，还力求理论联系实际，把器官建成规律和产量形成、看苗诊断以及高产稳产栽培技术有机的结合起来，尽可能体现出较强的综合性和实用性的特点，使之逐步成为作物学科中一个新的分支。

本书内容以稻、麦、玉米、高粱、粟、棉、油、蔗、烟等作物为主，基本上分禾本科作物和双子叶作物两大类。重点阐述各个器官建成的共同规律，同时指出不同作物的特性。全书共分九章，前八章分别叙述种子、根、茎、叶、花、果实等各器官的形态结构、形成过程及其与自然环境、栽培条件的关系，第九章论述各器官之间生长的相关关系。

在本书编写过程中参考了大量的教科书、理论专著和论文资料，其中一部分已列入书后主要参考文献部分，对所参考文献的作者表示衷心的感谢。本书初稿写成后，承蒙河南农业大学丁宝章教授和华中农业大学杨曾盛教授、刘承柳教授细致审阅，提出了不少宝贵的修改意见。施政、蔡明历两同志为本书绘制了插图，在此一并致谢！

本书第一、四、五、六、九章由余德谦编写，第二、三、七、八章由朱旭彤编写。由于编写《农作物器官建成》一书系初次尝试，又因编者水平所限，难免有错误和缺点，希望读者批评指正！

编 者

1990.6

目 录

第一章 农作物种子萌发与出苗	1
一、农作物种子的形态结构	1
(一) 种子的形态	1
(二) 禾本科作物种子的结构	2
(三) 双子叶作物种子的结构	3
二、农作物种子的萌发与出苗	4
(一) 种子的萌发与出苗过程	4
(二) 种子萌发和出苗过程中的生理生化变化	6
三、农作物种子萌发与出苗的条件	10
(一) 种子的休眠、成熟度和寿命	10
(二) 种子萌发出苗的外界条件	13
第二章 农作物根系的建成	17
一、农作物根的形态结构	17
(一) 禾本科作物根的形态与结构	17
(二) 双子叶作物根的形态与结构	21
(三) 作物根的变态	24
二、农作物根系的建成	26
(一) 禾本科作物根系的建成	26
(二) 双子叶作物根系的建成	28
(三) 根系建成与环境条件的关系	28
第三章 农作物茎和分枝的生长	34
一、农作物茎的分化与结构	34
(一) 茎的分化	34
(二) 禾本科作物茎的形态与结构	35
(三) 双子叶作物茎的形态与结构	37
二、农作物茎的生长	40
(一) 禾本科作物茎的生长	40
(二) 双子叶作物茎的生长	41
(三) 茎的倒伏与徒长现象	42
三、农作物茎分枝的发生	43
(一) 禾本科作物的分蘖	43
(二) 双子叶作物的分枝	49
第四章 农作物叶的生长	55
一、农作物叶的形态与结构	55
(一) 叶的基本形态	55
(二) 叶的结构	56

(三) 叶的变态	63
二、农作物叶的分化与生长	65
(一) 叶的分化发育	65
(二) 叶的生存期	67
三、农作物叶的功能分组	68
(一) 主茎出叶数	68
(二) 主茎叶片的功能分组	69
四、农作物群体叶面积的组成与消长	70
(一) 群体叶面积的组成	70
(二) 群体叶面积的消长动态	71
五、叶的生长与环境条件的关系	73
(一) 温度对叶生长的影响	73
(二) 光照对叶生长的影响	73
(三) 水分对叶生长的影响	74
(四) 氮素对叶生长的影响	74
第五章 农作物花芽的分化与形成	76
一、农作物花的形态结构	76
(一) 双子叶作物花的形态结构	76
(二) 禾本科作物的花及小穗	78
二、农作物的花芽分化与形成	79
(一) 花芽分化	79
(二) 生殖细胞的分化与发育	84
三、农作物花芽分化形成与环境条件的关系	90
(一) 花芽分化形成的诱导条件	90
(二) 影响花芽分化发育的环境因素	94
第六章 农作物的开花、授粉和受精	98
一、农作物的开花	98
(一) 开花与开花期	98
(二) 开花顺序	98
二、农作物的授粉	99
(一) 自花授粉	100
(二) 异花授粉	100
三、农作物的受精	100
(一) 花粉粒的萌发和花粉管的生长	100
(二) 双受精作用	102
四、授粉、受精与环境条件的关系	104
(一) 温度对授粉、受精的影响	104
(二) 水分对授粉、受精的影响	105
(三) 风速对授粉、受精的影响	106
(四) 矿质营养对授粉、受精的影响	106
五、防御不良环境条件对农作物开花、授粉、受精危害的技术	106
(一) 调整作物品种布局, 避开灾害	107
(二) 合理灌溉, 调节温、湿度	107

(三) 合理施用矿质元素	107
(四) 其他防御技术	107
第七章 农作物果实、种子的形成	108
一、禾本科作物子粒的形成过程	108
(一) 子粒的形成和成熟	108
(二) 子粒发育的不均衡现象	110
(三) 花而不实和空壳秕粒的现象	112
二、双子叶作物果实、种子的形成过程	113
(一) 棉铃和种子纤维的形成过程	113
(二) 豆类作物荚果和种子的生长发育	117
(三) 油菜角果和种子的生长发育	118
(四) 双子叶作物的落蕾、落花、落果及空果瘪粒	121
第八章 农作物营养体产品器官的形成	126
一、薯类作物的收获器官——块根、块茎的形成	126
(一) 甘薯块根的形成与生长	126
(二) 马铃薯块茎的形成与生长	130
二、甘蔗和麻类等作物的收获器官——茎和韧皮纤维的形成	131
(一) 甘蔗茎的糖分积累和成熟	131
(二) 麻类作物韧皮纤维的形成和麻茎成熟	133
三、叶用作物的收获器官——烟叶的形成	136
(一) 烟草叶片的形态特征	136
(二) 烟叶的生长过程	136
(三) 烟叶的生理成熟和工艺成熟	137
(四) 烟叶的品质要素	137
(五) 影响烟叶产量和质量的因素	138
第九章 农作物各器官之间生长的相关性	139
一、营养器官之间的生长相关性	139
(一) 地下部和地上部的生长相关	139
(二) 主茎和分枝的生长相关	140
(三) 根、叶、茎等器官的同伸关系	141
(四) 主茎各叶分化生长之间的关系	142
二、营养器官和生殖器官之间的生长相关性	144
(一) 营养器官生长和生殖器官生长之间的数量关系	144
(二) 茎、叶生长与花芽分化的时间关系	146
三、农作物产量构成因素之间的相关性	151
(一) 群体密度与单株产量之间的关系	151
(二) 源、库、流之间的关系	153
主要参考文献	156

第一章 农作物种子萌发与出苗

农作物的种子是由受精胚珠发育而成的。油菜、花生、芝麻、棉花、大豆、黄麻、红麻、烟草等种子，都是由胚珠发育而成的，是真正的种子。水稻、小麦、玉米、高粱、苕麻等的籽粒，作为播种材料一般也叫做“种子”，实际上是由于子房与胚珠发育而来的果实。农作物的器官都是由种子发育而来，种子的正常萌发出苗是农作物新个体生长发育的开始，因此了解种子的形态结构、萌发出苗过程及其必需的外界条件，对于指导农作物播种、获取全苗壮苗，奠定高产的基础是十分重要的。

一、农作物种子的形态结构

(一) 种子的形态 农作物种子的大小、形状、颜色因种类不同而异。蚕豆、花生、玉米、棉花的种子较大，水稻、小麦的种子次之，油菜、芝麻、黄麻的种子则比较小，而烟草、苕麻的种子则更小。主要作物种子的千粒重见表1—1。至于形状则是各式各样，豌豆、大麻为圆珠形，花生为椭圆形，棉花为梨形，红麻为三角棱形，黄麻种子为不整齐的4—5面锥形。种子的颜色则更是多种多样，每一种作物品种的种子都有它固定的颜色。

农作物的种子虽然各式各样，但基本结构是一致的。有的由种皮、胚两部分组成，有的是由种皮、胚和胚乳等三部分组成。

表 1—1 主要农作物的千粒重

(单位: g)

作物名称	千粒重	作物名称	千粒重
蚕豆	650—1100	水稻	24—32
花生	300—1000	油菜	3左右
大豆	140—220	向日葵	70—100
玉米	200—350	芝麻	3左右
棉花	100左右	黄麻	2—3
绿豆	30—70	烟草	0.06—0.08
小麦	34—50	苕麻	0.059左右

摘自南京农学院和江苏农学院主编的作物栽培学（南方本）

种皮 种皮是由珠被发育而来，具有保护胚和胚乳的功能。有一层的，也有两层的。若为两层时，则外种皮由外珠被发育而成，内种皮由内珠被发育而成。外种皮常由多层厚壁细胞所组成，因此厚而坚韧，起保护作用，在其上还可看到种脐和种孔。内种皮往往只为一薄层，由薄壁细胞组成。种皮的结构因作物而异，有具坚硬种皮的，如棉花、红麻；有种皮结构简单，薄如纸状的，如花生；有果皮与种皮愈合，种子成熟时种皮被挤压而贴于果皮内层的，如水稻、小麦、玉米等。

胚 胚由受精卵发育而成，由胚芽、胚轴、子叶和具有根冠的胚根组成。植株的营养器官由胚发生，胚芽和胚根是二个生长点，胚芽产生主茎，胚根产生主根，它们可在两个相反的方向形成作物的不同器官。胚的形状因作物种类不同而异，不管胚的形状如何不同，它们的位置总是一定的，胚根一般都位于珠孔的附近。胚的子叶也是多样的，它们有的细长，有的扁平，有的含有大量储藏物质而肥厚（如花生、大豆的子叶），有的呈盾状（如稻、麦），有的在种子内部呈多次折叠（如棉花）。

胚乳 胚乳是由受精的极核细胞发育而成的。胚乳中含有大量的淀粉、蛋白质等营养物质，农作物种子在发育过程中都有胚乳形成，但在成熟种子中，有的不具有或只有很少的胚乳，这是由于在发育过程中胚乳的营养物质转移到胚中的结果。

（二）禾本科作物种子的结构 禾本科作物的种子是单子叶有胚乳种子。成熟的种子由幼嫩而部分发育的胚、不同含量的胚乳和种皮与果皮愈合的籽实皮所组成。禾本科作物种子在植物学上称为颖果，因其种皮没有机械组织，在果实发育过程中果皮与剩余的种皮组织相愈合，包围在种子之外。作为播种材料的稻谷、大麦、有稃种高粱、小米等在颖果外还被有外稃和内稃，食用时才除去内、外稃，称为糙米、麦米、小米等。

禾本科作物的胚乳一般约占籽实重的80%以上。胚乳的主要成分是淀粉和蛋白质，有角质胚乳和粉质胚乳之分。角质胚乳的组织致密而透明，含蛋白质较高。粉质胚乳的组织较松，淀粉粒之间有空隙，呈白色而不透明，含蛋白质较低。胚乳性质因品种而不同，也受气候和栽培条件的影响。禾本科作物的胚乳通常包括糊粉层及淀粉组织，胚乳的最外层为糊粉层，近种皮处的细胞较小，其中除淀粉粒外，还含有蛋白质、脂肪、维生素B和酶类，对萌发过程中胚乳的消化起很大作用，靠近胚的一面，糊粉层较薄，仅1—2层细胞（图1—1），水稻在糙米精白、小麦在加工成面粉时，糊粉层与种皮、果皮一起被剥除，称为糠或麸皮。淀粉组织在糊粉层的里面，是胚乳的主体部分，由充满淀粉粒的细胞构成。

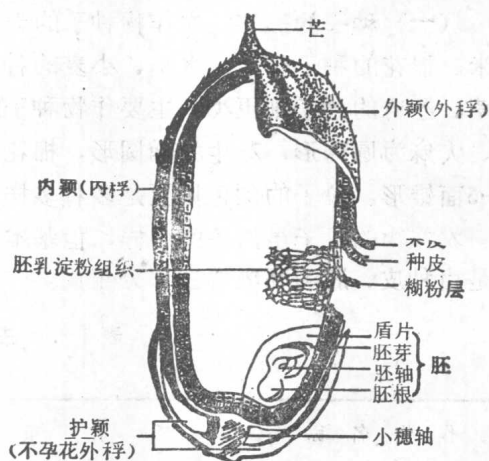


图1—1 稻谷及其糙米的结构

禾本科作物的胚一般由胚芽、胚轴、胚根及盾片四部分组成（图1—2、图1—3）。胚芽包在胚芽鞘内，含有2—3个未发育的叶。这2、3个叶片包围着生长锥。胚根顶部有胚根鞘保护，除胚根外在胚轴上还有根原基的分化，每个根原基端部都有根冠覆盖，种子萌发时胚根形成初生根，其余的根原基形成初生不定根，在小麦中它们的数目通常为4条，在黑麦中为2条，水稻中为5条。胚轴连接胚芽和胚根，其侧面与盾片相连接，盾片（子叶）多呈弯曲形，其突出的一面与胚乳相接，盾片近胚乳的一面为与胚乳垂直引长的筒状细胞，称为柱状上皮细胞，含有淀粉转化酶，能把贮藏于胚乳组织中的淀粉转化为可溶性糖，它还能吸收已被分解的胚乳物质，运往胚的生长部分，故有吸收层之称。盾片伸展覆盖于胚芽鞘顶端的一个外生物叫腹鳞。在胚轴与盾片相对的一侧，有些禾本科作物种子还着生有膜片状的突起物，称为外胚叶（外子叶），仅含有薄壁细胞，没有维管系统。过去认

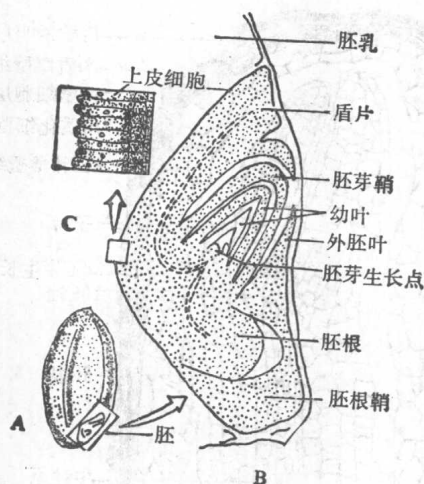


图 1—2 水稻颖果的结构

A. 水稻颖果的外形，示胚的部分 B. 胚的纵切面
C. 上皮细胞

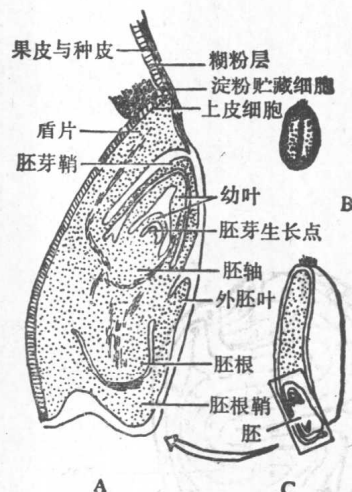


图 1—3 小麦颖果的结构

A. 胚的纵切面 B. 籽粒外形 C. 籽粒纵切面

为外胚叶是另一片子叶退化的部分，现认为是胚器官一部分的裂片或其延伸物。

(三) 双子叶作物种子的结构 双子叶作物种子多为双子叶无胚乳种子。成熟的种子由种皮和胚所组成。

双子叶作物如棉花、大豆、油菜、蓖麻等都具有坚硬的种皮，有保护种子的作用。种皮由表皮细胞、栅状细胞（由长柱形厚壁细胞组成，排列密集、整齐，约占整个种皮厚度的一半）和色素层等部分组成，种皮上具有网纹。在棉花种子的合点端和发芽孔周围的种皮不具栅状细胞层，便于进行气体交换和萌发时吸收水分（图1—4）。花生由于有荚果保护，种皮很薄，只有薄壁细胞和维管束系统，无栅状细胞和厚角组织。

双子叶作物的胚由胚芽、胚轴、胚根和子叶组成。子叶二片，着生于下胚轴之上，种胚的大部分空间被子叶占据（图1—5）。胚芽在二片子叶之间，并常为子叶基部的组织所包围，故子叶有保护胚芽的功能。子叶内还含有蛋白质、脂类和碳水化合物等营养物质，是种子萌发过程中养分的主要来源。双子叶作物的种子，在其形成的初期，有发达的胚乳细胞，但后来逐渐被胚所吸收，到种子成熟时，胚乳只剩仅有1—2层细胞组成的薄层，成为胚乳遗迹，附着在胚与种皮之间，故双子叶作物的种子一般为“无胚乳种子”，但也有少量双子叶作物是有胚乳的种

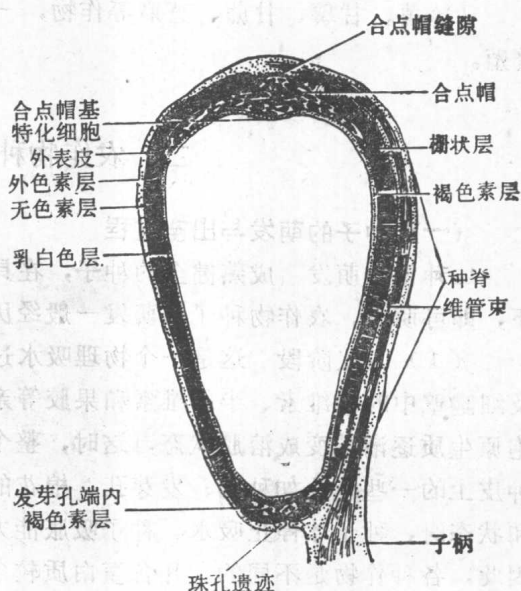


图 1—4 成熟棉子的种皮部分纵切面

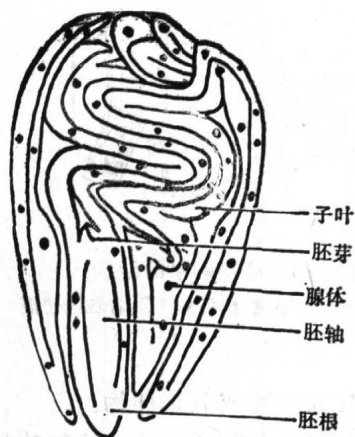


图 1—5 成熟棉子种胚的纵切面

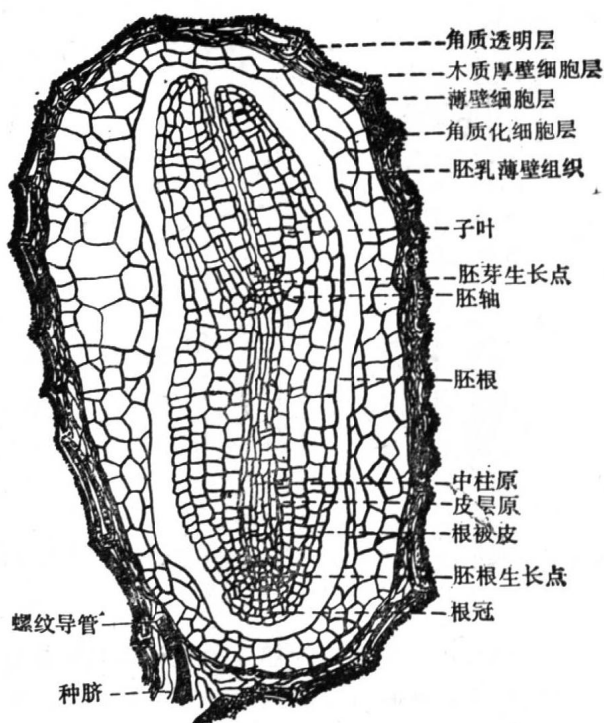


图 1—6 烟草种子的纵剖面

子，如烟草、蓖麻等（图1—6）。

作物的果实是由子房形成的，种子是由子房中的胚珠形成的，通常生产上所称的苕麻、糖用甜菜等双子叶作物种子，其实都是果实。关于种子的形成和发育容后详述。

马铃薯、甘薯、甘蔗、苕麻等作物，一般不用种子而用块茎、块根、地上茎或地下茎繁殖。

二、农作物种子的萌发与出苗

（一）种子的萌发与出苗过程

1. 种子的萌发 成熟健全的种子，在具备适宜的温度、足够的水分和充足氧气的条件下，即可萌发。农作物种子的萌发一般经历吸胀、萌发和发芽三个阶段。

（1）吸胀阶段 这是一个物理吸水过程。干燥的种皮及种胚所含的蛋白质、核酸以及细胞壁中的纤维素、半纤维素和果胶等亲水性胶体物质大量吸水，使处于凝胶状态的细胞原生质逐渐转变成溶胶状态，这时，整个种子体积膨胀。水分在软化种皮的同时，还从种皮上的一些缝隙如种孔、发芽孔、棉花的合点帽等处进入种胚，直到细胞内部水分达饱和状态时，种子才停止吸水。种子吸胀能力的强弱决定于种子内的贮藏物质的化学成分，因此，各种作物是不同的。凡含蛋白质较多的种子，吸胀能力一般大于含淀粉多的种子，如大豆需吸收种子本身干重100—150%的水分才能萌发，棉籽、油菜籽需吸收干重60%的水分，而水稻则只需吸收种子干重25—30%的水分才能萌发。

(2) 萌动阶段 种子吸足水分后, 胚乳或子叶中贮藏的淀粉、脂肪、蛋白质等物质发生水合作用, 在具备适宜温度和氧气足够的条件下, 经过各种酶的作用, 转化为简单的可溶性物质, 并释放出大量的能量, 供胚细胞进行旺盛的新陈代谢。有的作物在此阶段外形上也有所表现, 如水稻种子的胚吸水萌动后, 挤破包着胚部的 外稃基部, 露出白色胚部, 称为露白 (破胸)。

(3) 发芽阶段 胚的生长部分利用吸收的营养物质和能量加速合成结构物质, 以促进细胞分裂和伸长, 使胚根和胚轴开始伸长, 胚芽分化出新的叶原基, 这时呼吸强度达到高峰, 需氧量也达最大。随着胚根的伸长, 发芽孔被胀裂。当胚根伸出发芽孔, 胚芽也突出种皮, 并达到一定长度时, 就称为发芽。不同的作物达到发芽的标准不同, 如棉籽当其胚根长度达种子长度的 $\frac{1}{2}$ 时就达到发芽标准, 而小麦、水稻的发芽标准则是胚根与种子等长, 胚芽达种子长度的 $\frac{1}{2}$ 时, 才算发芽。

2. 出苗 种子发芽后, 胚轴继续向上生长, 把胚芽和子叶带到地表, 达到一定标准时就称为出苗。不同的作物出苗标准不同, 如小麦的出苗标准是胚芽鞘顶出土面后, 第一真叶从胚芽鞘顶端裂孔处伸出, 其长度达2—3cm时; 棉花、油菜、大豆等作物则是下胚轴拱出土面后, 两片子叶平展时, 达到出苗标准。

当幼苗伸出土面时, 通常有两种不同的情况:

(1) 子叶出土 这类种子发芽后, 下胚轴伸长, 初期弯曲成拱形, 在棉花上称为“弯钩”或膝状幼茎, 拱出土面后, 就逐渐伸直, 使子叶脱出种皮而展开, 以后从胚芽生长点旁长出真叶。属于子叶出土的作物有棉花、大豆、油菜、苕麻、芝麻等 (图1—7)。

花生种子发芽时, 下胚轴伸长, 将子叶及胚芽推向土表, 但当子叶顶出土

面, 见光后, 下胚轴即停止伸长而上胚轴则迅速生长, 在第二片真叶展开时即为出苗。但是在黑暗条件下发芽出苗或出苗时正逢阴天, 以及在沙土地上播种较浅的情况下, 子叶可以出土或部分出土。从花生的下胚轴能够向上伸长这一特点来看 (图1—8), 它与子叶出土的大豆相类似, 而不同于下胚轴不伸长的水稻、蚕豆等。但花生见光后下胚轴即停止伸长, 子叶不完全出土则又与子叶出土作物不同, 所以有人称花生为子叶半出土作物。

(2) 子叶不出土 这类种子发芽后, 上胚轴 (子叶上部和第一真叶之间的一段茎) 或中胚轴 (禾本科作物盾片节与胚芽鞘节之间的一段茎) 伸长露出土面, 把胚芽、胚芽鞘带到土表, 而子叶则残留在土中与种子不脱离 (图1—9), 直到内部养料消耗完毕。小麦、蚕豆、豌豆等作物是靠上胚轴伸长出苗, 玉米主要靠中胚轴伸长出苗, 水稻一般情况下是上胚轴伸长出苗, 但如果播种深度达3—5cm时, 中胚轴亦会伸长。这类种子播种时如果覆土过深, 往往使上胚轴或中胚轴过度延伸, 消耗种子中贮藏的养料, 出苗后形成弱苗。在小麦上显著伸长的上胚轴称为“根茎”。

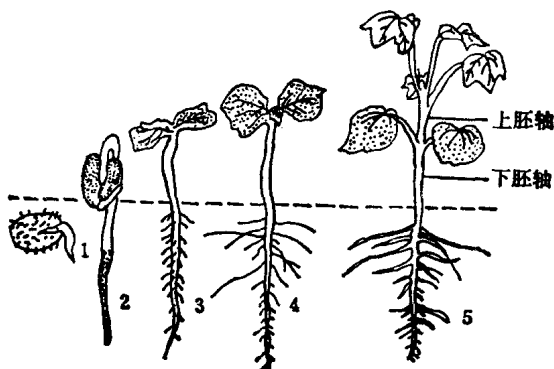


图1—7 棉子的发芽与出苗

1—5. 棉子发芽出苗顺序

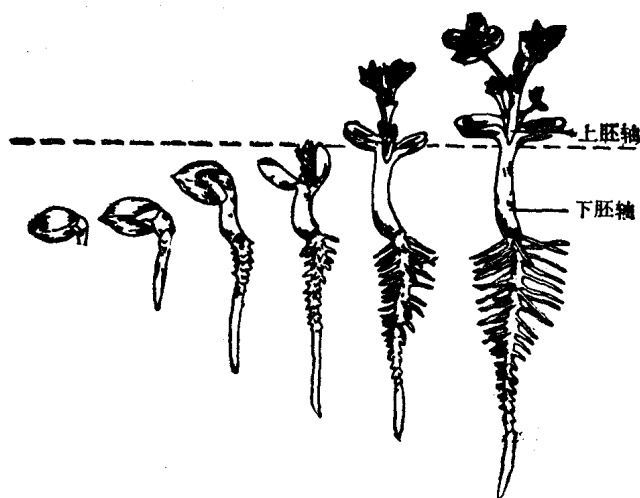


图 1—8 花生种子发芽及幼苗出土过程

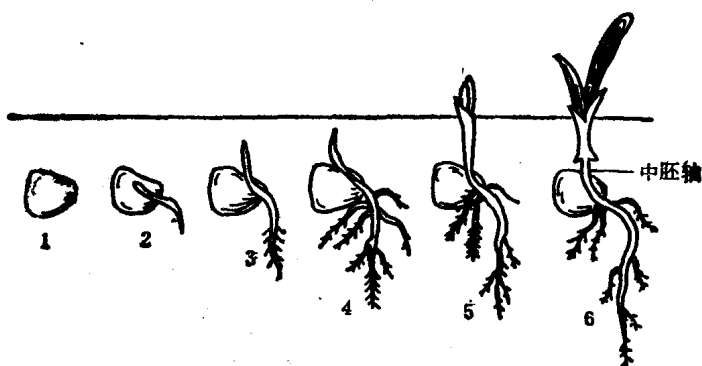
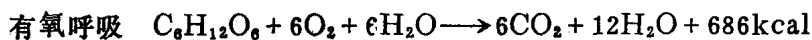


图 1—9 玉米种子的发芽与出苗

(二) 种子萌发和出苗过程中的生理生化变化

1. 种子萌发与出苗过程中的呼吸作用 种子萌发出苗是一个由休眠到活跃生长的过程。种子萌发出苗时，有机物的分解、运输和重组过程都需要能量，器官的生长也需要能量供应。能量来源于呼吸作用，而且呼吸过程中产生的中间产物，如酮酸、草酰乙酸等有机酸还是形成新细胞生活物质不可缺少的原料。所以，种子萌发时呼吸作用的强弱都会影响物质代谢和器官建成。

根据呼吸过程中是否有氧参加作用，可将呼吸作用分为两类。一类是无氧呼吸（酒精发酵），另一类是有氧呼吸，其总反应式如下：



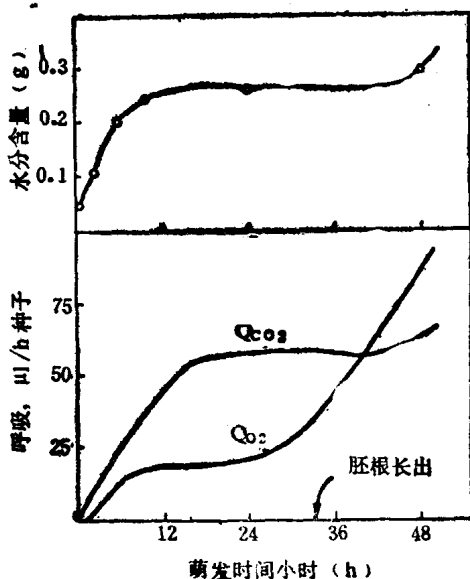
比较上述反应式，可以看到在有氧呼吸过程中由于基质的氧化进行得彻底，故放出的能量比无氧呼吸高28倍多，能量的转化效率高。此外，有氧呼吸过程中产生2-酮戊二酸、草酰乙酸、延胡索酸等中间产物，是合成蛋白质的重要原料，而无氧呼吸产生的酒精，若积累过多还会引起胚中毒死亡。

表 1—2 水稻萌发种子的呼吸强度

(1g干物质在 30min 内放出气体的毫升数) (Алешин, 1960)

气 体 代 谢	萌 发 时 数			
	12	24	36	48
吸收的氧气	3.6	8.2	32	48.5
放出的二氧化碳	13.7	23.9	18.3	33.95
呼吸系数 CO_2/O_2	3.8	2.8	0.6	0.7

经过对水稻、豌豆种子萌发出苗过程中呼吸作用的研究表明(表1—2, 图1—10), 在水稻种子破胸(胚芽胀破谷壳)和豌豆胚根伸出种皮前, 由于谷壳或种皮的包裹, 种子吸氧量少, 产生的 CO_2 多, 呼吸系数高(CO_2/O_2), 大大超过1, 说明这时的呼吸途径主要是无氧呼吸。当谷壳或种皮被胚芽或胚根突破后, 氧气已能自由地进入种子中, 则转为以有氧呼吸为主, 呼吸系数降到1或1以下。由于能量供应充分, 合成新细胞原生质的原料充足, 胚体各器官就开始迅速生长, 幼苗的干重迅速增加, 而胚乳或子叶里的贮藏物质相继被消耗, 并得到很好地利用。如果此时缺氧, 如田间渍水或水稻处于淹水条件时, 种子仍进行无氧呼吸, 细胞分裂由于缺乏原料和能量而受阻, 以致使茎生长点、根、叶和子叶出土作物的下胚轴不能正常分化、形成、生长和出苗。如果通气条件长期不能得到改善, 种子往往会因酒精积累中毒和微生物的侵染而黑根烂种, 丧失发芽出苗能力。水稻虽有较完备的无氧呼吸系统, 胚芽鞘是以细胞伸长的方式进行生长, 能利用无氧呼吸放出的少量能量, 迅速伸长出水面, 以获得大量氧气, 但要使幼苗生长迅速、健壮、扎根深、地上部粗壮, 还是要在有氧呼吸条件下才能达到。因此, 水稻若要以最经济方式进行物质转化, 就必须有充足的氧气供应。据汤佩松等研究, 谷种萌发后的5—

图 1—10 豌豆种子萌发与胚根长出时的 CO_2 释放量和 O_2 的吸收量

10天内, 在供氧充足的条件下(含氧量大于0.2%), 贮藏物质的转化效率(新器官总干重/胚乳消失干重%)

为50%, 在缺氧条件下(含氧量为0.2%), 贮藏物质的转化效率为10—20%, 也就是说形成1g重的新器官需要呼吸消耗掉4—9g贮藏物质, 而有氧呼吸只需消耗掉1g贮藏物质。

呼吸途径不仅影响物质转化效率而且对贮藏物质转化的速度也有明显影响。在缺氧条件下, 种子进行无氧呼吸时, 降低了一些酶的活性, 使贮藏物质转化速度缓慢, 不能及时供应萌发出苗所需的可溶性养分, 使幼苗生长瘦弱, 抗性降低。例如: 吸足水分的南京11号水稻种子保持在湿润情况下培养10天后, 胚乳的残留率为59.7%, 而在淹水5cm的情况

下, 胚乳的残留率为85.0% (表1—3), 胚乳消失速度比有氧条件下慢, 这主要是胚乳内淀粉酶的活性受到抑制, 淀粉水解受阻造成的。

表 1—3 氧气条件对胚乳物质转化效率及输出速度的影响

(江苏农学院, 1974)

生长条件	胚乳、幼苗(mg/株)				胚乳贮藏物质转化效率(%)	地上部干重/根干重
	残留干重	残留率(%)	地上部干重	根干重		
湿润	11.0	59.7	3.4	2.20	69.8	1.5
淹水5cm	15.6	85.0	0.7	0.03	10.7	23.3

注: 品种南京11, 每处理150株, 谷种胚乳干重18.4mg, 胚干重0.43mg

2. 贮藏物质的转化 种子未萌发前, 种子内的贮藏物质处于相对静止状态, 但在适宜的水分、温度、氧气等条件下, 这些贮藏物质可水解成简单、可溶、便于运送的有机物质。这些有机物被运送到胚体后, 可作为种子萌发所需的呼吸原料和形成新细胞的结构物质。贮藏物质的转化过程是在酶的参与下进行的。研究表明, 萌发种子中的各种酶来源于以下两个方面, 一是从已存在的蛋白质转化或活化而来; 二是通过核酸指导下合成新蛋白质, 新蛋白质再转化或活化为酶。不同的贮藏物质由相应的酶来进行转化。因此, 了解作物种子的组成成分, 及其转化酶活动所必须的条件, 是正确制定种子处理、播种出苗期田间管理措施的重要依据。

种子中贮藏的物质主要是淀粉、脂肪和蛋白质, 不同作物的种子这三种有机物的含量是不同的。通常以含量最多的有机物为根据, 将种子区分为淀粉种子(淀粉较多)、油料种子(含脂肪较多)和豆类种子(蛋白质较多)(表1—4)。这些有机物在种子萌发时, 被水解酶水解为简单的有机物, 然后运送到正在生长的幼胚中, 作为幼胚生长的营养物质来源。

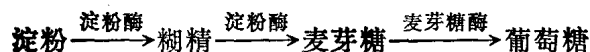
(1) 碳水化合物的转化 种子中贮藏的碳水化合物主要是淀粉。它必须转化为简单的糖类, 才能运输至胚体。如将一粒已萌发的小麦种子, 切开后取少量放在玻片上, 再放

表 1—4 农作物种子中贮藏的主要有机物(%)

作物	种子	淀粉	脂肪	蛋白质
淀粉种子	小麦	72.0	1.4	12.0
	水稻	73.0	2.0	10.0
	玉米	76.0	4.0	8.0
	高粱	74.0	4.0	10.0
油料种子	油菜(甘蓝型)	2.5*	42.0	27.0
	向日葵	14.0	51.0	23.0
	芝麻	11.0	58.0	22.0
	花生	16.0	46.0	30.0
	棉花仁	3.7*	36.8	37.3
豆类种子	大豆	30.0	20.0	39.0
	豌豆	58.0	1.0	24.6
	蚕豆	49.0	0.8	18.2

注: 有*者为含糖率。引自潘瑞炽等编《植物生理学》, 1979

在显微镜下观察，则可看到淀粉粒在淀粉酶的作用下水解的情况：一个完整的淀粉粒表面首先发生小缺刻，慢慢形成许多空洞，然后分解成小颗粒，最后全部被溶解消失（图1—11），与此同时淀粉转化成麦芽糖，进一步水解为葡萄糖。淀粉水解的整个过程，可用下式表示：



淀粉转化为葡萄糖后，一部分作为呼吸作用的基质，另一部分运送到幼胚作为合成纤维素的原料，以保证新生细胞形成细胞壁。

（2）脂肪的转化 油料作物种子含脂肪较多。这类种子萌发时，脂肪在脂肪酶的作用下水解为甘油和脂肪酸。甘油在甘油激酶催化下，形成 α -磷酸甘油，再经 α -磷酸甘油脱氢酶催化转变为磷酸二羟丙酮，它可参与糖酵解反应，也可沿酵解途径逆行，生成葡萄糖、蔗糖等。脂肪酸则经过 β -氧化分解为乙酰辅酶A，再通过乙醛酸循环转变为蔗糖。

上海市农业科学院的试验证明（图1—12）：棉花种子中贮藏淀粉等糖类物质较少，但在种子萌发过程中，糖类物质的变化却与脂肪含量的变化相反，即随着棉子萌发过程的不断推进，脂肪酶的活性增强，脂肪逐渐被分解，棉子中的糖类物质除被种子萌动时消耗外，其含量还有所上升，这是由于一部分脂肪转变成糖的结果。脂肪水解后形成的糖，一部分作为呼吸基质，另一部分用于结构物质的合成。White (1958) 的研究表明，棉子萌发后的2.5天，种子中脂肪利用率为60%左右，第5天的利用率高达90%以上，脂肪的利用率在光照条件下较黑暗条件为快。种子萌发后游离脂肪酸的含量逐渐增加，萌发1周左右，子叶中游离脂肪酸的绝对含量增加2—3倍，相对含量从5%提高到20%。脂酶活性的最适pH值为4—5，因此游离脂肪酸的积累可提高脂酶的活性，所以脂酶的活动具有自动催化能力。

（3）蛋白质的转化 种子中贮藏的蛋白质分子量大，大多不溶于水，即使溶于水也是呈胶体状态，很难透过细胞运输到胚的生长部分。在种子萌发过程中由于蛋白酶和肽酶的催化作用，蛋白质水解为多种氨基酸，一部分氨基酸直接被利用来合成新的蛋白质，还有些氨基酸继续分解，经氧化脱氨而产生游离的氨（ NH_3 ），这些游离的氨又可和多种酮酸合成新的氨基酸，再合成蛋白质。蛋白质在种子萌发过程中经过分解和再合成，构成新

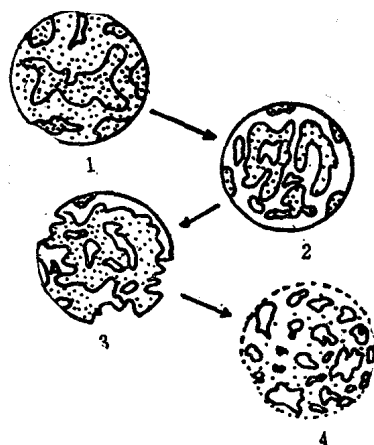


图1—11 淀粉粒被消化的过程

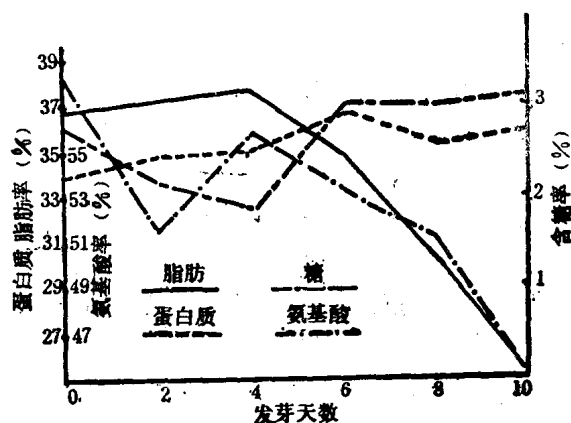


图1—12 棉花萌发过程中养分的转化

（品种，陆地棉岱字棉15）

（上海市农业科学院，1981—1982年）