

千秋

自然  
07

窺探 大自然  
Glimpses  
of Nature

何乃健 著



何乃健

祖籍广东顺德，1946年生于泰国曼谷，1953年移居槟城，现为马来西亚公民。马来亚大学农学士，马来西亚理科大学生物学硕士，曾任职于吉打州慕达农业发展局（MADA），负责这个全国最大的稻产区里有关水稻双造种植的农艺技术推广及训练工作。现为稻作学顾问。

曾以英文、马来文发表百余篇农业论文，大部分在国内外研讨会上宣读。多篇论文被选入国际水稻研究所（IRRI）、联合国粮食及农业组织（FAO）、英联邦农业署（CAB International）与日本国际农业科学研究中心（JIRCAS）的论文集。

曾获雪兰莪中华大会堂及潮州八邑会馆统一学术文艺出版奖的诗歌奖（1978年）、马来西亚华人文化协会主办的第四届文学奖的散文奖（1982年）以及第七届文学奖的翻译奖（1985年）。

著有诗集《碎叶》《流萤纷飞》《裁风剪雨》《双子叶》、散文集《那年的草色》《浙沥的檐雨》《稻花香里说丰年》《禅在蝉声里》《逆风的向阳花》《让生命舒展如树》、合集《含泪为大地抚伤》《惊起一滩鸥鹭》、评论集《荷塘中的莲瓣》《陈瑞献寓言赏析》以及科普书《转基因，转乾坤》《水稻与农业生态》。





千秋

自然

07

窺探大自然

何乃健 著

大野出版社

何乃健敬贈  
2012年7月26日



大将出版品第312种

自然  
07

窥探大自然

作者：何乃健

图照提供：何乃健

社长：傅承得

发行人：傅兴汉

法律顾问：吴汉强律师、王瑞隆律师

副总编辑：刘艺婉

助理编辑：郑美玉

出版：大将出版社（马来西亚）

发行：大将出版社（马来西亚）

MENTOR PUBLISHING SDN BHD (473710-T)

21-A, Jalan SG 8/7, Taman Sri Gombak,

68100 Batu Caves, Selangor D. E., Malaysia.

Tel: 03-61883266 Fax: 03-61885266

E-mail: [mentorp@streamyx.com](mailto:mentorp@streamyx.com)

Blog: [blog.yam.com/dajiang](http://blog.yam.com/dajiang)

印刷：佳印贸易公司 PERNIAGAAN YAKIN

16 & 33, Jalan Mewah 3/5, Pandan Mewah,

68000 Ampang, Selangor D. E., Malaysia.

第1版第1刷：2008年12月31日

定价：RM 20.00

著作权所有·侵害必究

图书分类：

Perpustakaan Negara Malaysia Cataloguing-in-Publication Data

Ho, Nai Kin, 1946-

[Kui tan da zi ran]

窥探大自然 / 何乃健著

(千秋自然：07)

ISBN 978-983-3941-20-9

1. Nature. 2. Science. I. Title. II. Series.

508

本书如有缺页、破坏、装订错误，请寄回本公司调换。

自序

## 万物与我为一

我于公元2000年提早卸下公务，开始崭新的生涯规划，并受邀为《农牧世界》月刊的〈生物新天地〉专栏写科普小品。悠悠八年岁月转瞬即逝，前后完成的百余篇作品，有关生物技术的部分已收入《转基因·转乾坤》（2002年出版）；有关稻作学的部分，则收入《水稻与农业生态》（2004年出版）。收入《窥探大自然》里的文章，已于2006年整理妥当，然而俗务缠身，出版工作一再延宕，内心常因松懈而愧疚。

我的兴趣庞杂，既钟情文学，也热爱生物学与农学。写科普文章的好处是：除了温故知新之外，还能扩大视野。我为自己的心灵打开了一洞窥望大自然的窗口，俯瞰生死苦海中挣扎求存的众生，仰望历尽成、住、坏、空，变易无常的宇宙。

人类的烦恼皆源自我执。陈鼓应认为：“希腊宇宙论时期哲学的二元倾向，形成了物我对立，自然与人事的对峙，结果常使人埋藏于物界而丧失其自然的地位。中世纪时更视自然人为罪人，自然界为罪恶之区。”工业革命之后，人与自然的矛盾日深。人类将自己视作主体，把大自然视为客体。这种强调主客二分的人类中心主义，认为大自然除了受人类奴役之外，别无其他存在的理由。这种心态造成人类妄自尊大，俨然是操弄生杀大权的霸主，肆无忌惮地主宰自然。近年来地球因为温室效应而不断暖化，亢旱、洪涝、土石流、沙尘暴、森林大


火等天灾，就是大自然受辱后做出反扑时，所发出的怒吼和呐喊。

近年来生物学家进一步了解细胞内深蕴的遗传密码，知悉人类的细胞，其实与其他生物的细胞，都具有非常接近的基本结构、生理现象和化学反应。美国科学家李威斯·汤姆斯（Lewis Thomas）在《细胞生命》（*Life of Cell*）中指出：我们从前以为自己的身体各个部件都是人类所专有，其实不然。我们身体的结构，原本是四方来聚，混杂其中。最好的例子就是细胞内称为线粒体（mitochondria）的细胞器。细胞始终在运动，因此能量的传递与转换不停地进行。细胞内的供能物质如葡萄糖，经过分解产生能量，这些能量除供细胞代谢活动之用，或做热能散发外，其余以高能键贮存于腺苷三磷酸（ATP）中，而线粒体内的基粒（elementary particles）就是进行能量转换，合成ATP的关键部位。线粒体驱动细胞，提供细胞呼吸作用所需的能量，从而使我们充满活力，生机盎然。严格说来，这些线粒体并不是我们自己的东西，而是独立的小生物。它们很可能是一些原始的细菌，蜂拥而入我们真核细胞的祖辈先驱体内，寄宿其中。这些外来的异类，一直在我们的细胞内按照它们自己的生存方式，根据它们自己DNA的指令，私下进行复制和繁殖。没有了这些与我们共生的寄居者，人类就会成为不能活动的僵尸，没有一块肌肉能够活动，没有一个念头能够在脑海中浮现。

对生命活动深切了解，才有可能认识人类与大自然原来竟是如此紧密地相互依存。我不禁赞叹庄子超凡的智慧。两千多年前，心境旷达的庄子，从多个不同角度透视宇宙万物之后，提出了“天地与我并生，万物与我为一”的观点，取消了天地

万物和我的对立关系。这种主客一体的宇宙观，和西洋哲学主客对立的宇宙观迥然不同。在庄子眼中，人类处于自然中，渺小如“毫末之在于马体”。我非常赞同陈鼓应在《庄子哲学》中的话：20世纪的科学技术，将使人类愈为机械化。对于这疯狂的时代，庄子哲学也许有一份清醒的作用，成为调整人心的清凉剂。

我希望这本小书中的文章，能让读者从自然生态的千姿百态中了解：渺小的人类在无垠的宇宙中，有如沧海一粟。唯有以“民吾同胞，物吾与也”的胸怀，仁民而爱物，将仁爱的理念扩展至人以外的大自然，始能和天下苍生休戚与共，减少人间的苦难，以及回避贪婪、嗔恚和愚昧所引发的冲突。



2008年10月23日



# ※ 目 录 ※

- 3 自序：万物与我为—
- 9 生态系统中的非生物环境因素
- 18 生态系统中的生物环境因素
- 24 生物地质化学循环
- 32 细胞——生命的基本单位
- 41 植物组织的结构和功能
- 51 植物的器官和系统
- 60 有花植物的果实
- 69 有花植物的种子
- 80 植物的化学武器
- 88 植物激素的功能与用途
- 96 亦敌亦友的微生物
- 107 识别水稻常见病害症状
- 114 稻瘟病的综合防治
- 127 认识禾本与莎草植物
- 137 热带的水生植物
- 149 婀娜多姿的棕榈
- 161 善于造土的蚯蚓
- 174 奇妙的昆虫世界
- 184 捕食害虫的蜘蛛
- 195 化学信息素的特殊功能
- 204 主要参考文献



## 生态系统中的非生物环境因素

苍茫宇宙中，我们的地球只不过是一颗围绕着太阳运行的行星；而太阳在借助天文望远镜所观察到的千千万万颗恒星中，也只是一颗普通的恒星。无垠的宇宙里，地球虽然渺小，但是地位却异常特殊，因为这是目前人类所知道的唯一有生命的星球。

天文学家估计：地球约形成于四十六亿年前。地球表面的大气圈、水圈和岩石圈相互接触之处，由于具备了适宜的光照、温度、湿度以及充足的营养元素，为生物提供了生息繁衍的环境条件，逐渐形成了千姿百态的生物圈。

### 朝两方向积极发展

根据克赫斯（George Cox）在《生物保育学》中的估计，生物圈里孕育着超过一百五十万种已命名的生物，包括一百余万种动物、三十余万种植物与十余万种微生物。生物学就是研究这些有机体的科学。

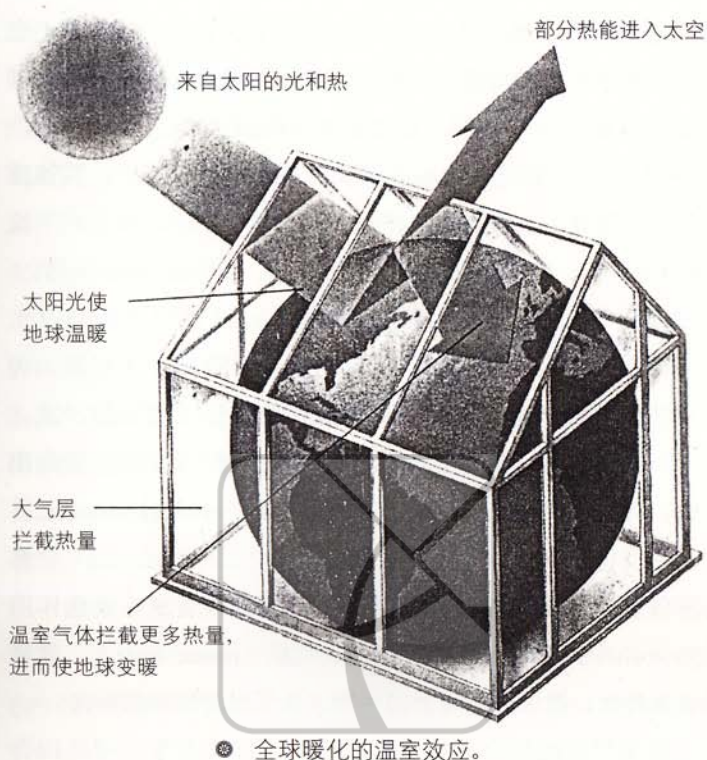
从20世纪后半期开始，生物学朝着两大方向积极发展。微观方向的钻研，使人类深入细胞核（nucleus）中破解了基因（genes）的秘密，从而开拓令人叹为观止的遗传工程。宏观

方向的探索，使人类了解生态系统的千变万化，进而窥伺生物与环境的综合体内，物质和能量交换的动态平衡。近年来，环境科学已为农业与环境保育奠下重要的理论基础。

与整个地球的体积相比，生物圈所涵盖的层面事实上非常微小，仅包含地壳表层的土壤、大海、湖泊、河溪与其下的冲积层，以及大气层中鸟类、蝙蝠飞翔，微生物浮游其间的部分。生物圈为人类提供了生存的基础条件，而人类的活动也不断地影响生物圈，甚至改变了地球的面貌。

有机体 (organisms) 的周围环境，由非生物因素与生物因素组合而成。这些环境因素往往随着时间的推移而产生变化。在变化过程中无法适应的生物会死亡消失，能够适应的生物则有机会存活繁衍。这种对劣境的适应能力称为耐受性。耐受性能够通过生物的行动、生理或遗传适应而获得增强。

田里的作物一般对亢旱的耐受性较低，炎热的季节里，往往因为缺水而枯萎。然而，禾本科的杂草马唐 (*Digitaria sanguinalis*, common crabgrass) 因为能形成收缩根 (contractile roots)，并能使茎部暂停生长，从而降低对水分的需求量，因此耐旱性较强，在极度干燥的环境中仍能生存。马齿苋 (*Portulaca oleracea*, purslane) 在阴天时尽量舒展叶片承受阳光，热天时却调整叶片的位置，垂直上举以减少阳光的直接照射。很多作物在盐土 (saline soils) 中无法存活，然而茼蒿 (*Scirpus maritimus*, bulrush) 却因对盐碱的耐受性强，而能在盐土中正常生长繁衍。



## 非生物因素的影响

地球最大的特征是生物的出现。生物圈中所有生命的形成与延续，都与空气、水分、热量和土壤等非生物因素所提供的生存条件息息相关。

### 空气

由于地球的质量比其他类似的行星大，同时引力状况适中，因此在引力作用下，形成了以氮（nitrogen）和氧

(oxygen) 为主体的大气层。大气层的厚度约1000公里，空气是指接近地面的对流层 (troposphere) 内的气体。空气中以氮的含量最高 (78%)，其次是氧 (约21%)、氩 (argon, 约0.93%)、二氧化碳 (carbon dioxide, 约0.03%)，其他成分包括：氖 (neon)、氦 (helium)、氢 (hydrogen)、甲烷 (methane)、臭氧 (ozone) 和一氧化氮 (nitrous oxide) 等。

空气是一切生物生存的基本条件，没有空气就没有生命，而生命的出现也改变了大气的结构。地球形成初期，大气主要由氢和氦组合而成。随着地内物质释放出气体，氮、氨 (ammonia)、甲烷、水气与二氧化碳渐增。绿色植物出现后，叶绿素 (chlorophyll) 在光合作用 (photosynthesis) 的过程中，将二氧化碳转化为碳水化合物 (carbohydrates)，并且释放氧气。氧气在高空中受到阳光提供能量进行光化作用 (photochemical reaction)，形成臭氧层 (ozone layer)。臭氧吸收紫外线，能保护地球上的生物，免受过量辐射的伤害。

对流层在温带介于10至12公里，在赤道最厚，可达18公里；反之，在两极的厚度最低，仅8至9公里。在对流层里，气温上冷下热，温度高的空气上升，温度低的空气下降。这种相对的流动，产生了空气的对流，形成风、雨、云、雾、露、霜、雪、雹等天文现象，对农作物的生长与收成影响很大。

生物呼吸时需要氧来分解有机物，以获取能量。在无氧状况下，有些低等生物如酵母菌 (Saccharomyces, 又称yeast) 能进行无氧呼吸 (anaerobic respiration)。高等生物只能作短暂的无氧呼吸，如果空气中氧气不足，人和动物会心跳加速，呼吸频繁，恶心呕吐，甚至死亡。细胞在进行新陈代谢 (metabolism) 时，会产生氧的自由基 (free radicals)，这些

活性氧在有机体内积累，可能破坏细胞膜（cell membrane）和染色体（chromosome），影响器官的功能。缺氧会危害人体，然而，如果长期吸入高纯度的氧气，例如进入高压氧舱作长期逗留，可能引发氧中毒，使酵素（enzymes）氧化、肺部积水、肺泡（air sacs）萎陷，并且损伤神经系统，造成痉挛、缺失视觉，昏迷而死。

植物的干重（dry weight）之中，碳占了45%。由于植物的碳来自空气，因此，二氧化碳在空气中的浓度直接影响植物的发育和成长。温室中进行的植物生理实验证明，增加二氧化碳的浓度，增施有机肥，提高土壤的通氧性，促进好气性细菌（aerobic bacteria）的呼吸作用以释放大量的二氧化碳，可令作物增产。

然而，大气中的二氧化碳浓度增加，会扰乱地球上热气的平衡，造成全球暖化的温室效应。当二氧化碳在空气中的浓度由0.03%增加到4%时，人类就会头痛、呕吐，超过10%就会死亡。

空气中含量最高的氮，通过闪电及雷雨，能形成含氮化合物，土壤中一些微生物，也能将空气中的氮转化为氨，然后进一步成为蛋白质（protein）和核酸（nucleic acids）等重要的生命基本物质。然而，一旦空气中的含氮气体如二氧化氮（nitrogen dioxide），因为大量消耗矿物燃料而提高，并且与水结合成为含有硝酸（nitric acid）的酸雨，洒落大地能伤害作物的嫩芽新叶，干扰光合作用，危害人类和牲畜的健康。

## 水分

水是生物赖以生存的基本条件之一。一般植物体内含

70%至80%水分。成长中稻株含水65至85%，一些蔬菜含水约90%。人体含水约60至70%，因年龄与肥瘦而异。

水是营养物质和代谢产物的溶剂与输送的载体。水是光合作用的主要原料，没有水一切生化与生理反应皆无法在有机体内进行。在生态环境中，水的作用包括调节气候与净化环境。

植物对水的需求量很大，以水稻为例，每生产1公斤稻米，需水5000公斤。植物通过根部吸收的水，大部分在蒸腾作用（transpiration）中消耗。据植物生理学家估计，一般植物一生中吸收的水分，只有1%留存于植物体内的组织（tissues）中，其余99%以水蒸汽状态，通过角质层（cuticle）和气孔（stomata）散失于空气中。

由于土壤中的水分与氧气此长彼消，因此，为了培育作物，必须水分适宜，同时也需要氧气供应充足；若水分太多，反而会造成许多不良的后果。例如水稻，由于长期被农民栽植于淹水的生态环境中，体内形成发达的通气组织（aerenchyma tissue）。稻叶吸收空气中的氧气，以及利用光合作用所释放的氧，通过叶鞘和茎秆（culm）的通气组织，输送到水稻的根系，并且向根部土层分泌氧气，在积水的土层里形成一个氧化圈。水的含氧率一般只有0.3至0.5%，低于根对氧的需求十倍左右。如果长期阴雨，稻田积水太深，淹没稻叶，土壤将严重缺氧。由于光合作用趋弱，向根部输糖剧减，根系处于缺氧状态时，呼吸作用受到干扰，根细胞的分裂受到抑制，使吸水吸肥能力下降，严重影响稻叶的光合功能。水层过深再加上水田里大量施用未经腐熟的有机肥，根系会因硫化物还原而遭受硫化氢（hydrogen sulphide）等有毒物质的危害，形成黑根和烂根，稻株早衰，容易倒伏。对于其他作物例如果树与蔬菜，长

期积水会使作物凋萎，因为根部缺乏空气供应，只能进行无氧呼吸，结果产生大量酒精。这些无氧呼吸的副产品浓度增加，能危害作物。

### 光照和热量

太阳是地球最主要的能量源泉，地球的表面恒受太阳电磁波的照射。大约36%来自太阳的辐射，抵达大气外层时，即被反射回太空，其余则由大气层与地表吸收。地球所吸纳的太阳辐射，73%的总能量由地表吸收，其余的27%留存于大气层。植物通过光合作用，将太阳的光能转变成化学能。这项地球上最大与最重要的生化过程，涵盖两个连续的化学反应：

- 光反应（light reaction或hill reaction）只在光照下进行。光合作用的场所是叶绿体（chloroplast）内的基粒（grana），每个基粒的圆盘形片层（亦称光合膜）上含有光合色素（photosynthetic pigments）。光反应从光合膜的色素吸收光能而激发开始，经过电子传递（electron transfer）和光的水解（photolysis），将光能转化为化学能，以腺苷三磷酸（简称腺三磷，adenosine triphosphate, ATP）和还原型辅酶（NADPH<sub>2</sub>）的形式贮存。在各种色素中，叶绿素约占66%，由蓝绿色的叶绿素a与黄绿色的叶绿素b组成。叶绿素吸收较多红光和蓝紫光，吸收绿光较少，因此多数植物叶子呈青绿色。
- 暗反应（dark reaction或Calvin Reaction）发生于叶绿体的基质（stroma）内，利用光反应产生的ATP和还原型辅酶将二氧化碳转成稳定的化学能，以葡萄糖（glucose）的形式贮存。这些化学能除了供给植物自身应用之外，也让其他异养

(heterotrophic) 生物消耗，形成了生机勃勃的生态环境。

光照的强度能影响植物与动物的生长和发育。光能促进植物细胞增大、分裂和分化，改善果实品质。光也能影响动物的行为方式，如生物钟的运作、动物回游与迁飞。

光周期现象 (photoperiodism) 显示：日照时间的长短，对植物的发育和开花影响很大。长日照作物 (long-day plants)，如大麦 (barley)、小麦 (*Triticum aestivum*，俗称 wheat)、萝卜、莴苣 (lettuce) 和油菜等必须在延长日照时，才会提早开花。反之，短日照作物 (short-day plants) 如菊花、大波斯菊、大豆以及传统水稻品种，在延长日照的情况下不能开花，这些植物在暗期较长时才会开花结实。中间型作物 (day-neutral plants) 如番茄和黄瓜，则不受日照的长短影响。

阳光照射到地表后，光能变成热能，进而调节地表温度和大气湿度。温度对种子萌芽 (germination) 和秧苗生长有很大的影响。水稻种子萌芽的最低温度，介于10至13℃，上限温度为40至43℃，最适温度为25至35℃。

## 土壤

土壤的结构由四个主要成分组合而成，即无机物 (inorganic matters)、有机物 (organic matters)、土壤空气和土壤水分。

土壤源自岩石。长期以来，大气圈中的风沙和来自阳光的热力，水圈中的雨雪、河流和冰川，生物圈的动植物活动以及细菌的酸液，不断对岩石进行侵蚀，最终碎裂为地面上的土壤。

土壤根据质地，可分为沙土 (sandy soil)、壤土 (loamy

soil) 和黏土 (clay soil) 三大类, 其中以壤土含沙粒、粘粒和粉沙 (silt) 的比例适度, 质地均匀, 通气透水性佳, 保持肥性优良, 最适合种植。

土壤的酸碱度 (pH) 由土壤里各种盐类的化学性质决定。植物生长范围大多在pH4至9度之间, 过酸或过碱都会使根细胞受到伤害。在pH6至7的土壤状况下, 养份有效性最理想, 植物生长也最茂盛。

动物对土壤的影响很大, 例如蚯蚓在土壤里的活动, 能增加通气性, 分解土壤中难溶的物质。蚯蚓的排泄物中含有各种矿物元素, 能够提升土壤肥性。

### 人为转变土壤性质

人类的活动, 能将劣土转变成沃土。利用石灰中和酸性土壤, 以及利用堆肥改善土质, 都是鲜明的例子。同样的, 人的另类活动, 如伐木、建屋、造路、陡坡垦植、过度放牧等, 却能将沃土转劣。在埃及、巴比伦、印度和中国, 过去大片肥沃的耕地和林园, 因为森林受到乱砍滥伐, 结果渐渐失去了积聚水分和涵养水源的绿色宝库。摧毁了防风固沙的绿色屏障之后, 土地裸露, 水土流失加剧, 河流与灌溉系统淤积阻塞, 最终耕地和园林因缺水及盐碱化而沦为荒凉贫瘠的不毛之地。

认识生态系统, 了解各种环境因素相互影响的奥秘, 才有可能令农业永续发展, 使大地成为更适合人类和其他生物共存的乐土。

## 生态系统中的生物环境因素

生物圈里千姿百态的物种（species），在繁衍生息的过程中不断互相影响，并于特定的地域中使物质与能量达致相对平稳的状况，最终形成了独特的生态系统。目前，地球上由不同生物于不同地理环境中形成的生态系统，如沙漠、沼泽、田野、草原、河流、湖泊、海洋等，都曾经历过漫长岁月的环境变迁，才逐渐形塑出今日的风貌。

### 水稻形成不同系统

在农业领域中，作物经过不同地理环境的考验，也会形成全然迥异的人工生态系统。以水稻为例，稻作对不同土壤、地势、水分等生长环境的长期适应，终于形成了高地生态系统（upland rice ecosystem）、深水生态系统（deep water rice ecosystem）、雨养平原生态系统（rainfed lowland rice ecosystem）和灌溉生态系统（irrigated rice ecosystem）。

生态系统内所有的生物活动，都需要能量的供应始能进行。太阳是生物能量的主要来源，植物在光合作用中将太阳能转换成化学能。这些只能单向流动的能量，最终化为热能消散。这些散失的能量，不能在生态系统中重复循环。

影响生态系统的有机因素，涵盖了种群 (population) 在生物群落 (biological community) 中所进行的多方面交互作用 (multi-directional interaction)，如竞争、掠食、共生、腐生、寄生等。深入了解物种内与物种之间的交互作用，肯定对保护生物多样性 (biodiversity) 有很大的帮助。

### 竞争 (Competition)

杰克生 (Andrew Jackson and Julie Jackson) 为竞争所下的定义是：物种之间负面的交互作用令所有参与者皆受损。

相同物种的成员，在同一个地域内，为了获取食物与生存空间而引发的对抗，称为种内竞争 (intraspecific competition)。例如池塘里的鱼群，因为大量繁殖而密度过高时，体型较大的鱼往往会吞食体型较小的同类。

不同物种之间的斗争称为种间竞争 (interspecific competition)。水田里的稗草 (*Echinochloa crusgalli*, barnyard grass)、千金子 (*Leptochloa chinensis*) 和各种莎草与水稻之间的竞争，就是鲜明的例子。

植物之间的竞争是为了获取阳光、水分和养料，而动物之间的竞争是为了食水、食物、求偶以及繁殖的栖所。

在农业生态系统中，竞争所造成的负面影响，可以通过人工控制，例如种植密度、选择抗性强的品种，以及作物种类的合理搭配等措施，来减低竞争所引起的不良后果，从而提高作物的产量。

### 捕食 (Predation)

捕食亦称掠食。在捕食过程中，被捕食者成为掠食者

(predator) 的猎物 (prey)。弱肉强食是种间竞争中最普遍的现象。

在捕食过程中，掠食者的数目往往随着被捕食者群体的大小而起伏波动。例如田鼠因稻禾逐渐成熟而纷纷由附近丛林移入水田之际，猫头鹰也因为食物来源增加而从四方八面飞来捕食田鼠。当农民采取全面行动，铲除田埂和沟壁的杂草，清理农田附近适宜田鼠繁殖的阴蔽场所和大量追杀田鼠之后，由于鼠群锐减，猫头鹰在缺乏猎物的情况下难以生存，只好迁移到他处觅食。

利用捕食者在农业生态环境中消灭有害生物 (pests)，是综合病虫害防治 (integrated pest management) 中的重要策略。例如田里的瓢虫 (*Coccinella spp.*) 能捕食蚜虫 (aphid)、介壳虫、粉虱和叶螨 (mites)，因此农民常以瓢虫作为天敌来防治害虫。



● 捕食田鼠的猫头鹰。

水田里的黑肩绿盲蝽 (*Cyrtorrhinus lividipennis*)，成虫和若虫 (nymph) 均会捕食，并以褐飞虱 (brown planthopper) 卵为主。盲蝽取食前在水稻叶鞘上不断爬行，摆动触角寻找飞虱卵。通常盲蝽先用口针试探卵块位置，然后将口器插入虱卵内吸取卵液。一只盲蝽的成虫，一天能吸八至十粒褐飞虱的虫卵。田里盲蝽数量的多寡，与稻作中褐飞虱的群体密度成正比例。

由于瓢虫和盲蝽等捕食者对广谱性杀虫剂敏感，因此避免滥用农药能减少这些益虫受到杀伤。

### 寄生 (Parasitism)

在寄生关系中，寄生物取得营养，寄主则蒙受损害。

寄生物生活在寄主的体外，如动物皮肤或毛发上的跳蚤等，称为外寄生 (ectoparasitism)。若寄生物生活在寄主体内，如蛔虫等，则称为内寄生 (endoparasitism)。

寄生物本身也有可能成为另一种生物的寄主。例如疟蚊 (*Anopheles gambiae*) 附于人体皮肤上吸血，因此被归类为外寄生物。匿藏于疟蚊体内的疟原虫 (*Plasmodium*)，则成为能引发疟疾 (malaria) 的内寄生物。能传染疾病的寄生物称为病原体 (pathogen)。

在农业生态系统中，菟丝子 (*Cuscuta chinensis*, dodder) 是一种常见的寄生杂草。菟丝子又名金丝藤，黄橙色的茎呈细丝状，长可达数米，叶如鳞片，三角状卵形，花簇生于茎侧。菟丝子能寄生于多种植物体上，以一种称为吸器 (haustorium) 的特殊器官，深入寄主茎内的维管束 (vascular bundle)，吸取水分和营养素。在大豆田里，一株菟丝子能四处蔓延，缠绕百株以上的大豆植株，严重影响大豆的生长。

田里的作物，常受寄生害虫如蛀心稻螟 (stem borer) 的威胁；然而在大自然中，这些害虫也同样受到另一类拟寄生者 (parasitoid) 的天敌昆虫所控制，使害虫数量无法上升。有些寄生性天敌昆虫，如赤眼蜂 (*Trichogramma spp.*)，经过大量繁殖，可作为生物农药使用，能有效地压低害虫密度，达致驱除虫害的作用。

## 共生 (Symbiosis)

共生是两种生物彼此间建立的密切关系。共生可分为两大类，即片利共生 (commensalism) 和互利共生 (mutualism)。

片利共生亦称同住共生。在片利共生中，两种生物共同生存，其中一种生物从同住的关系中获益，而另一种生物则相对地不受影响。最好的片利共生例子是附生植物 (epiphytes)，如胡姬和蕨类 (ferns)，依附于高大的树干上获取阳光进行光合作用，其营养来源靠雨水和溶解于水中的无机盐。附生植物不会对作为寄主的大树带来伤害。

在互利共生中，两种生物皆能从同住关系中获得好处。互利共生的佳例是根瘤菌 (Rhizobium) 与豆科植物所形成的根瘤 (root nodules)。根瘤菌透过土中空气进行固氮 (nitrogen fixation)，合成含氮化合物供植物利用，豆科植物则为根瘤菌提供养分、水分和庇护所。

另一个互利共生的例子是白蚁 (termites) 和它们胃与小肠里的微生物 (micro-organisms)，包括细菌和原生生物 (protozoa)。白蚁把纤维素 (cellulose) 当做食物，这些纤维素在白蚁的肠道内经过多种微生物消化，成为白蚁可以利用的养分，而这些微生物也借着分解纤维素，获取能量来生长和繁殖。

上述各种生态系统中的交互作用，可以从图表 (一) 中看出物种之间的相互影响和效应：

图表 (一)

| 类别作用 | 后果                | 冲击  |
|------|-------------------|-----|
| 竞争   | 两败俱伤, 双方失利        | -/- |
| 捕寄   | 一个物种成为另一个物种的食物    | -/+ |
| 寄生   | 寄生物获利, 寄主受损       | +/- |
| 片利共生 | 一个物种获利, 另一个物种不受影响 | +/0 |
| 互利共生 | 两个物种通过同住关系获利      | +/+ |

## 善加利用生物资源

生态系统中已死亡的生物遗体, 经过碎食生物 (detritivores) 与分解生物 (decomposers) 进行的分解作用之后, 在土壤中渐渐累积成腐植质 (humus), 使土壤颗粒聚合、改善土壤质地, 让植物蓬勃生长。碎食生物如蚯蚓、蜈蚣、线虫 (nematode) 等将粗粒有机质 (一般超过2毫米) 碎化为微粒有机质 (一般少过2毫米), 从而增加有机质的面积, 提高微生物进行分解作用的效率。

分解生物包括霉菌与细菌, 这些微生物能分泌胞外消化酶 (extracellular digestive enzymes) 来维持自身的生活, 同时让营养物质循环, 这种生活方式称为腐生 (saprophytism)。凡以腐生方式将复杂有机体分解为简单的养分吸收, 同时导致有机质腐烂的生物叫腐生物 (saprophytes)。许多引起植物病害的病原体, 都兼具腐生与寄生特性。

了解生态系统中的生物环境因素, 并且善加利用这些多样性的生物资源, 永续农业才能顺利推展, 人类的未来才有保障。

## 生物地质化学循环

根据中国古代神话，开天辟地的盘古逝世之后，头颅和四肢化为山岳，血液化成江河、肌肉化成土壤，毛发化成草木，而从腐朽的身躯中爬行而出的小虫，被风吹拂之后都变成人类与其他动物。动物最初以草类为食物，而人类与其他较凶猛的动物后来又以这些草食动物为食。动物死亡之后，回归泥土，让草木从中获取养分生长。

### 物质不断重新组合

古代的神话虽不足信，却简略地描述了生态系统中生产者（包括自营生物如绿色植物）、初级消费者（包括以植物为食的草食动物如兔、羊、牛和鹿等）、次级消费者（包括肉食动物如狼类等）、三级消费者（包括大型肉食动物如老虎、狮子等）和分解者的相互联系。以上五个生态系统中营生阶层的组成部分，其细胞与组织内的基本化学元素，最初是来自非生命的外环境。这些元素的分子（molecules）通过能量流动，结合成千变万化的有机物，如碳水化合物、蛋白质与脂肪（lipids），最后又归还大地，由细菌、真菌（fungi）和放线菌（actinomycetes）等分解者，将复杂的化合物还原成基本

元素或简单的物质，并由生产者再度利用。这个重复循环的过程，称为生物地质化学循环（biogeochemical cycle）。在整个错综复杂的循环中，物质不断重新组合，既不消失，也不增加。

生物地质化学循环可以分为两个阶段：

### 有机阶段（Organic Phase）

在这个阶段中，主要元素如碳、氢、氧、氮、磷、硫以及微量元素等沿着食物链，从一个营养级（*trophic level*，亦称食性层次或营生阶层）流动到另一营养级。在这个流动过程中，热量不断散失，能量也不断减少。例如稻田里的蛀心稻螟在稻秆内嚼食，将光合作用营造的淀粉（*starch*）消耗。螟虫被鸟雀捕食，随后猫又捕食鸟雀。在流经几个营养级后，剩下的能量已所剩无几了。

### 无机阶段（Abiotic Phase）

在这个阶段中，从食物链回流到土壤或大气的化学元素，一部分沉淀贮存以供再度应用，一部分则扩散成无形，等待机缘巧合时再度被吸收。例如水稻的叶片被蚱蜢嚼，随后田鼠捕食蚱蜢，猫头鹰又捕食田鼠。猫头鹰的排泄物掉落田里，由微生物分解成无机的基本元素，吸附于粘土上，等待下个季节到来时，为水稻提供养分。



● 猫头鹰。

## 每种循环涵盖三要素

生物地质化学循环亦称为营养循环 (nutrient cycles)。在自然界中, 每个循环涵盖三种要素, 即化学元素、生物体和非生物环境。重要的营养循环是:

### 水循环 (The Hydrologic Cycle)

地球表面约70%被水覆盖, 在整体的水容量中, 海水所占的比例最大, 约97.2%, 其次是极地的冰川, 约占2.2%, 地下水约占0.3%, 湖泊约0.009%, 河流与大气各占0.001%。

水的循环过程, 从海洋、湖泊、河流与地表的蒸发作用开始。由这些水体蒸发到大气层中的水蒸气, 经由云的形式随风飘往大陆和岛屿, 遇冷时凝结成雨、雪、雹、霰降落到土地上, 汇流成溪涧与河川, 大部分流回海洋或湖泊, 小部分渗入土层成为地下水。

植物吸收的水分, 只有少量留在细胞与组织内, 绝大部分通过蒸腾作用返回大气层。动物所摄取的水分, 大部分通过排汗 (perspiration) 与排泄作用 (excretion) 归还周围环境。水份制约着生物的繁衍, 缺水会影响生命活动, 甚至造成生物凋萎死亡。同样的, 生物的生命活动也影响环境中水分的含量, 例如茂密的森林中, 空气的湿度就超越草原上的湿度。

海洋对地球上的生物非常重要, 大气层中每天新生的氧气, 大部分由海洋中的浮游生物产生。如果在水循环过程中, 河流将污染物带入海洋, 造成这些浮游生物受到破坏而死亡, 那么大气中的氧浓度将会下降, 地球上的生物也将面临生存危机。

## 碳循环 (Carbon Cycle)

碳是建构生命的材料。在大气中，二氧化碳的含量约 0.03%。二氧化碳与氧气对生物的影响既深且巨。大部分生物通过有氧呼吸，把食物如葡萄糖分解产生能量，释放二氧化碳和水。碳循环的过程中，大气里的二氧化碳在光合作用中受到固定，合成碳水化合物，供动物与其他异养生物 (heterotrophic organisms, 亦称异营生物) 消耗。

光合作用是地球上规模最大的生化过程。在这个过程中，绿色植物与绿色细菌利用叶绿素吸取太阳能，将二氧化碳和水制成高能量的葡萄糖。

非绿色细菌 (non-green bacteria)、硫细菌和硝化细菌，因为没有光合色素，无法利用光能，因此必须利用硫化氢和氨等释放化学能，同化二氧化碳成为有机物。这种碳同化作用 (carbon assimilation) 称为化能合成 (chemosynthesis)。

除了消费者与植物本身的呼吸作用能产生二氧化碳之外，碳也能通过有机物在缺氧的情况下腐化，或于煤矿中产生甲烷，然后释放到大气中。

动植物的遗体在分解与燃烧的过程中，以及碳酸岩，例如碳酸钙 (calcium carbonate) 在溶解和风化 (weathering) 过程中，也能释放二氧化碳回到大气与水的蓄库里。

火山爆发与二氧化碳从海洋的扩散作用 (diffusion) 也影响大气中的二氧化碳含量。事实上海洋是碳的最大碳蓄库，其含碳量比大气多了五十倍以上。海洋的二氧化碳源自水生生物的呼吸作用以及大气的溶解。二氧化碳在大气中能溶于小水点中，成为碳酸 (carbonic acid)，对岩石能起腐化作用。

根据彭廷柏编著的《生态农业奇观》，自从人类于上个世

纪开始使用化石燃料之后，空气中的二氧化碳含量不断与日俱增。空气中的二氧化碳，约有50至65%被森林和海洋吸收，其余的二氧化碳则停留在大气之中。在1970年，空气中的二氧化碳浓度已增加到0.032%。根据估计，公元2000年的二氧化碳含量上升到0.0375至0.04%，到2020年时会达到0.05至0.056%。

大气中的二氧化碳含量增加，将促使空气和地球表面温度升高，造成冰川、冰山逐渐融化和海洋水面上升，许多沿海低平的农田将被海水淹没，引发全球灾难性的生态变化。

### 氮循环 (Nitrogen Cycle)

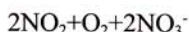
氮是一切有机体不可或缺的生命元素，因为氮是蛋白质的组成成分，而蛋白质具有建构生物体内各种组织的功能。

氮是大气的主要成分，含量约占78%。高等生物无法直接利用空气中的氮素，因此必须通过固氮细菌，例如，与豆类植物共生的根瘤菌，先将氮原子还原成氨，然后进一步转化为氨基酸 (amino acids)，这个生化过程称为生物固氮作用。除了豆科植物之外，满江红 (红浮萍) 以及一些自生固氮微生物也能将氮固定，成为硝酸盐 (nitrates) 进入土壤，被植物吸收，再经过复杂的生化反应，合成蛋白质。这个将氮转化为氨基酸的过程称为氮同化作用 (nitrogen assimilation)，而将氮转化为硝酸的过程称为硝化作用 (nitrification)。这个作用包括两个重要阶段：

第一个阶段是由亚硝化单胞菌 (Nitrosomonas) 将氨氧化：



第二个阶段由硝化杆菌 (Nitrobacter) 将亚硝酸进一步氧化成硝酸盐:



除了生物固氮, 闪电和宇宙线的电离作用 (ionization) 也能固定大气氮。

生物在新陈代谢中产生的含氮废物 (nitrogenous waste) 如尿素 (urea)、尿酸 (uric acid) 和粪便等在土壤中分解, 这些废物和生物死亡后腐化的遗体一样, 能通过氨化作用 (ammonification) 将蛋白质转变成氨, 然后再经过硝化菌 (nitrifying bacteria) 将氨硝化, 转换成硝酸盐, 重新供植物利用。

在氮循环过程中, 一些土壤中的厌氧细菌 (anaerobic bacteria) 如脱氮硫杆菌 (Thiobacillus denitrificans) 能进行去硝化作用 (denitrification, 亦称脱氮作用), 将硝酸盐转化为氮气, 回归大气层。

自然界含氮库的输入和输出平衡时, 生态系统将维持稳定状态。一旦大气中的氮氧化物因空气污染而增加, 并且形成酸雨, 植物受到破坏会逐渐黄化与落叶, 农作物的产量也将因此而锐减。

### 磷与硫循环 (Phosphorus and Sulphur Cycles)

磷与碳循环、水循环和氮循环的最大差异是: 磷并不以气态出现, 在大气中的磷一般以微尘状态悬浮于空气中。

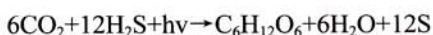
磷通常与钙 (calcium)、钾 (potassium)、镁 (magnesium)、铁 (iron) 化合成磷酸盐 (phosphates), 库

存于土壤和水体中。大部分磷酸盐的溶解度很低，不易被植物吸收，只有以离子形态出现的 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$ 和 $\text{PO}_4^{3-}$ 可由植物根部直接利用。陆地上的磷在水土流失中被河流带入海洋。磷由海洋回归陆地的循环过程缓慢，其中一个重要途径是通过海洋上的飞鸟捕食大海中的小鱼如鳀鱼（anchovies）。这些小鱼的主要食物来源是浮游生物（plankton）。由海洋深处升腾的潮涌（oceanic upwellings）将积存于海底的磷化物带到海面，由浮游生物吸收之后，再进入与陆地贯通的食物链。来自海洋的飞鸟在山洞里筑巢繁衍，鸟粪经过很多个世纪不断的积累，在地面可厚达40米。这些鸟粪是磷肥的主要来源。

硫在自然界中以硫酸盐（sulphates）的状态存于土壤中，经过植物吸收之后，进入含硫氨基酸，再经过一系列复杂的反应，构成各种蛋白质。植物中的有机硫由草食动物吞食与消化之后，在动物代谢中产生含硫废物，经排泄作用回归土壤。植物遗体中的硫，在微生物进行矿化（mineralisation）过程中再变形成硫酸盐，被植物吸收利用。

植物中的硫，也可能通过森林大火，或草原上点燃的燬火而氧化为二氧化硫（sulphur dioxide）进入空气中。

在缺氧的生态环境，例如湖底，有机物中的硫氢组合（sulfhydryl group, -SH）无法进行氧化作用，一些光合细菌（photosynthetic bacteria）能利用红外线辐射，化合二氧化碳和硫化氢为葡萄糖：



有机硫（organic sulphur）在燃烧过程中能形成二氧化硫，这些硫化物与工业废气中的二氧化硫一样，能与空气中的

水滴结合为硫酸 (sulphuric acid,  $H_2SO_4$ )，随雨水降落。这些含硫酸的酸雨，对农作物、牲畜与人类构成严重的威胁。酸雨的pH值小于5.6，不适合植物及鱼类生长与繁殖。在北美与西欧的工业区，酸雨pH值年平均为4至4.5，欧洲个别暴风雨的pH值，最严重时竟达2.4，其酸度与醋酸 (acetic acid) 相似。酸雨能破坏建筑物的金属架构，干扰土壤微生物的活动，使土壤中的营养元素加速流失，造成作物失收。酸雨不断恶化，能将森林和草原变成荒漠。

## 认真爱护生态环境

人类的活活动影响生物圈内能量与物质的流转与循环过程，变更动物、植物生长与繁衍的生态环境，并且常常造成严重的污染。地球是人类赖以生存的乐园，因此，我们必须认真爱护生态环境，不要将大地与海洋，当作可以无限制地抛掷废物、废水的垃圾场。多了解生物地质化学循环在生态系统中的作用，多思考人类与大自然的协调关系，并且努力对宝贵的资源进行多次循环利用，人类的未来才能摆脱资源破坏、环境污染、能源短缺、粮食不足等民生问题。

## 细胞——生命的基本单位

英国科学家罗拔·忽克（Robert Hooke）在1663年利用显微镜观察木栓层（cork）的薄切片时，发现这些植物组织是由密密麻麻，有如蜂巢似的方形格子组成。由于这些格子的外形与修道院里僧侣独处虔修的静室（cell）相似，因此他称这些方形格子为“cell”。当年忽克观察到的小方格，后来受到证实是软木柵树（*Quercus spp.*，俗称white oak）的组织干枯之后，由细胞壁（cell wall）围起的空间。德国科学家许利登（W. J. Schleiden）与许宛（T. Schwann）于1839年，提出了细胞是所有生物的基本单位这个概念之后，细胞不再意指忽克所观察到的空格子，而是整个格子里充满生机的活物质。

细胞的形状多种多样，大小不一。细胞可分为原核细胞（prokaryotic cells）与真核细胞（eukaryotic cells）两大类。原核细胞的结构比较简单，核物质（nuclear material）如脱氧核糖核酸（DNA）没有核膜（nuclear membrane）包围，脱氧核糖核酸只聚集于细胞质（cytoplasm）中显著的位置，该处称为核区（nuclear area）。低等单细胞生物如细菌和蓝绿藻即由原核细胞构成。反之，绝大多数多细胞生物，如蕈菇、苔藓、蕨类、种子植物和动物等，都是由真核细胞组合而成。真核的脱氧核糖核酸由核膜包裹，核内含有核糖核酸（RNA）为主的核仁（nucleolus）。

## 细胞的结构

### 细胞膜 (Cell Membrane)

各种细胞的表面都有一层称为细胞膜的薄膜，这层薄膜亦称质膜 (plasma membrane)。细胞膜的主要成分是脂分子 (lipid molecules) 与蛋白质分子 (protein molecules)。脂分子是由磷脂 (phospholipid)、胆固醇 (cholesterol) 和糖脂 (glycolipid) 组成。胆固醇能增强细胞膜，因此，细胞膜内的胆固醇含量越高，细胞膜就越坚固。

细胞膜的构造是由两层的脂质双重层 (lipid bilayer) 组成。蛋白质分子则穿插埋入这两层脂质中，能于脂质双重层内或它的表面上移动。

细胞膜是细胞的防护墙，防止细胞外的异物侵入。细胞膜这层屏障对进入细胞内的物质具有选择能力，它允许一些分子自由进出，却同时排摈另类物质于细胞外。

细胞膜外表面的一部分蛋白质分子，与糖分子结合成糖蛋白 (glycoprotein)，这类糖蛋白的糖链伸向细胞膜的外侧，就像电视机的天线，而蛋白质的基部则突出如鹿角。这些糖蛋白就是接收外界讯息，并将信号传达到细胞内的接收器 (亦称受体)。接受器除了能启动细胞内的一些反应之外，也能将外来分子带入细胞中。一个细胞膜上的接受器多达三百种以上，每一种接受器约有一百万个，因此一旦细胞膜出现状况，细胞就无法发挥作用。

细胞膜的脂质双重层有较高的电阻，不带电荷的脂溶性物质较易通过，而带有电荷或极性的亲水物质难以自由出入。膜上还有功能特殊的运送载体、酶系 (enzyme system) 或通道，

可让一些水溶性离子 (ions) 或小分子以高速穿越细胞膜。

### 细胞壁 (Cell Wall)

植物的细胞膜外围，包裹着由中胶层 (middle lamella, 亦称胞间层)、初生壁 (primary wall) 和次生壁 (secondary wall) 组成的细胞壁。这是植物细胞特有的结构，能对细胞起保护和巩固作用。

中胶层是细胞分裂 (binary fission) 时，在两个细胞之间形成的一层薄膜，组成中胶层的化学物质含镁素 (magnesium) 与果胶质 (calcium pectate)。

初生壁由纤维素、半纤维素 (hemicelluloses) 与果胶状物质 (pectic substances) 组成。纤维素的构造与直链淀粉 (amylose) 相似，由一千个以上的葡萄糖分子 (glucose molecules) 连接成串，并能与相邻的分子结合成韧性强的纤维 (fibre)。纤维素不溶于水。初生壁有弹性，能随细胞的生长不断扩大伸展。

次生壁只存在于植物部分细胞之中，主要由纤维素组成。次生壁使细胞壁增厚，加强对细胞的保护。

细胞壁上有纹孔 (pits)，这些纹孔都是细胞壁形成时没有被纤维素覆盖的小孔。能穿过纹孔的细胞质称为胞间联丝 (plasmodesmata)，其作用是沟通细胞间的物质交流，例如水分与养分的运输。

有些植物的表皮细胞壁 (epidermal cell wall) 中，常有腊质 (wax) 和角质 (cutin)。此外，禾本科植物如水稻的表皮细胞壁含有硅 (silica)，能提高机械强度，使稻叶直立，防御病虫害的侵袭，以及减少稻株倒伏。

## 细胞核 (Nucleus)

细胞核是细胞内最大的细胞器 (cell organelle)。一般细胞都含有一个细胞核，然而哺乳动物 (mammals) 的红血球 (erythrocyte) 与植物的筛管 (sieve tube) 皆不含细胞核。

细胞核由核膜包围，核膜上有核孔。细胞核一般呈球形。

染色质 (chromatin) 是细胞核中重要的成分。当细胞进行分裂时，染色质逐渐变粗，然后形成螺旋状的染色体 (chromosome)。染色体由长链脱氧核糖核酸和一些连结其上的蛋白质所构成，携带着细胞的遗传讯息。基因是染色体上的遗传单位，由脱氧核糖核酸序列构成。

核仁是细胞核内由核糖核酸和蛋白质组成的球体，负责制造核糖体 (ribosomes)，与蛋白质的合成 (protein synthesis) 息息相关。

## 内质网 (Endoplasmic Reticulum)

内质网是由两层很薄的质膜围成许多长管，并在细胞质中散布成网状的复杂微管系统。这些微管彼此相通，同时又与细胞核及细胞膜互相联系。

内质网在活跃成长的细胞中最为显著，若微管表面出现粒状的核糖体，其质膜称为粗糙膜 (rough-surfaced membrane)，若表面没有核糖体颗粒，则称为平滑膜 (smooth-surfaced membrane)。这些微管调节细胞质内的运输与循环。

## 核糖体 (Ribosome)

核糖体是细小的球状体，由核糖核酸与蛋白质组合而成。核糖体除了粘附于粗糙内质网之外，也存在于细胞核外膜的表

面上，或游离于细胞质中，每个细胞含有大约十万至数百万颗核糖体。

一般核糖体由一条信使核糖核酸（messenger RNA，简称 mRNA），将五至六个核糖体串联成多核糖体（polyribosome 或 polysome）。

多核糖体是蛋白质合成的主要场所。在蛋白质的装配过程中，转送核糖核酸（transfer RNA，简称 tRNA）会携带着二十种氨基酸中的其中一种到核糖体上面，按照遗传密码和其他氨基酸连接起来，互相缩合成肽（peptides），最后合成蛋白质。

高尔基体（Golgi Apparatus，亦称 Golgi Body 或 Golgi Material）

透过电子显微镜现形的高尔基体，常由一堆平行重叠的管状物、扁囊（flattened sacs）和小囊泡（vesicular expansions）构成。

高尔基体具有分泌功能（secretory function）。在植物细胞内，高尔基体位于细胞核附近，或散布于细胞质中，将合成的果胶、半纤维素和木质素（lignin）分泌出来，参与细胞壁的建构，有些高尔基体还能分泌酶和树脂（resin）。

中心体（Centrosome）

中心体是动物细胞和低等植物细胞，例如菌藻等特有的细胞器。它具有两个中心粒（centriole），状如短筒，相互垂直，位置接近细胞中央，常出现于核的一侧。

当细胞开始分裂，中心体也一分为二，每个都有两颗中心粒。新形成的中心体各自向两极移动，同时放出星丝

(astral fibre, 亦称aster ray), 并以纺锤丝 (spindle fibre) 互相联系。由纺锤丝组成的纺锤体 (spindle), 在细胞有丝分裂 (mitosis) 中起重大作用, 负责将染色单体 (chromatid, 亦称 daughter chromosome) 分配到新形成的两个细胞核中。

### 溶酶体 (Lysosome)

溶酶体是呈球状或卵形的细胞器, 散布于细胞质中, 大小不定, 只有单层外膜。一般细胞内含有数百颗溶酶体。一般认为这种颗粒由内质网或高尔基体边缘突出膨大的部分分裂而成。

溶酶体内的液状物酸性很高, 其中含有多种水解酶 (hydrolytic enzymes), 能把细菌和细胞残体中的蛋白质、核酸、多糖 (polysaccharide) 和脂类分解成小分子, 因此亦称为细胞内的消化系统。

有些细胞死亡后, 溶酶体立即破裂, 将酶释放出来, 将整个细胞分解, 这种现象称为细胞自溶作用 (autolysis)。

溶酶体主要出现于动物细胞内, 植物根部的分生细胞 (meristematic cells) 中的溶酶体, 较其他组织的细胞显著。

### 线粒体 (Mitochondria)

线粒体由双层质膜包裹, 一般呈颗粒状、香肠状或线条状。线粒体在衰老细胞中较少, 在新陈代谢旺盛的细胞中较多; 生机蓬勃的玉蜀黍幼根, 每个细胞内所含的线粒体, 数目往往高达三千余颗。

线粒体的外膜平滑, 内膜则重重相叠, 皱折使内膜的表面积增大, 其上遍布附有氧化酶系统 (oxidative enzyme

systems) 的颗粒。

线粒体的主要功能是产生能量，并以高能电子的形式，储存在腺苷三磷酸 (ATP) 的分子之中。ATP 是所有生物细胞可直接使用的能量来源，因此 ATP 可以说是细胞的电池。

由于线粒体的大小和细菌相近，同时与细菌一样，具有脱氧核糖核酸组成的环状染色体，因此许多生物学家相信线粒体可能是细菌的后代，以内共生 (endosymbiosis) 的形式繁衍。

线粒体可以在细胞内透过分裂方式繁殖，也会衰老和死亡。细胞的溶酶体内，可以找到线粒体残骸，显示细胞能将损坏与衰败的线粒体吞食，并于消化后以这些原料来建构新的胞器，这种现象称为自体吞噬 (autophagy)。

### 质体 (Plastid)

质体是绿色植物细胞所持有的细胞器，不存在动物细胞，也不出现于细菌、蓝绿藻与真菌的细胞中。在细胞成长初期，质体还没经过分化作用，这些未成熟的颗粒，称为前质体 (proplastids)。随着细胞逐渐长大，质体才分化为颜色与功能各异的三类质体，即白色体 (leucoplast)、有色体 (chromoplast) 和叶绿体。

白色体不含可见色素，是一种储存养份的细胞器，贮藏淀粉的称为淀粉质体 (amyloplasts)，积累蛋白质的称为蛋白质体 (aleuoplasts)，而含容脂肪的称为油脂质体 (lipoplasts)。有些细胞的白色体含有无色的原叶绿素，在阳光下转化为叶绿素而白色体亦随之变成叶绿体。

有色体是含有色素的质体，呈红色或橙黄色的有色体含有类胡萝卜素 (carotene) 和叶黄素 (xanthophyll)，主

要存在于花瓣和果实中。藻类 (algae) 的不同颜色与其他色素有关, 例如褐藻含岩藻黄质色素 (fucoxanthin)、蓝藻含有藻蓝蛋白色素 (phycocyanin)、红藻含有藻红蛋白色素 (phycoerythrin)。

叶绿体是含有叶绿素的质体, 是绿色植物进行光合作用的场所。

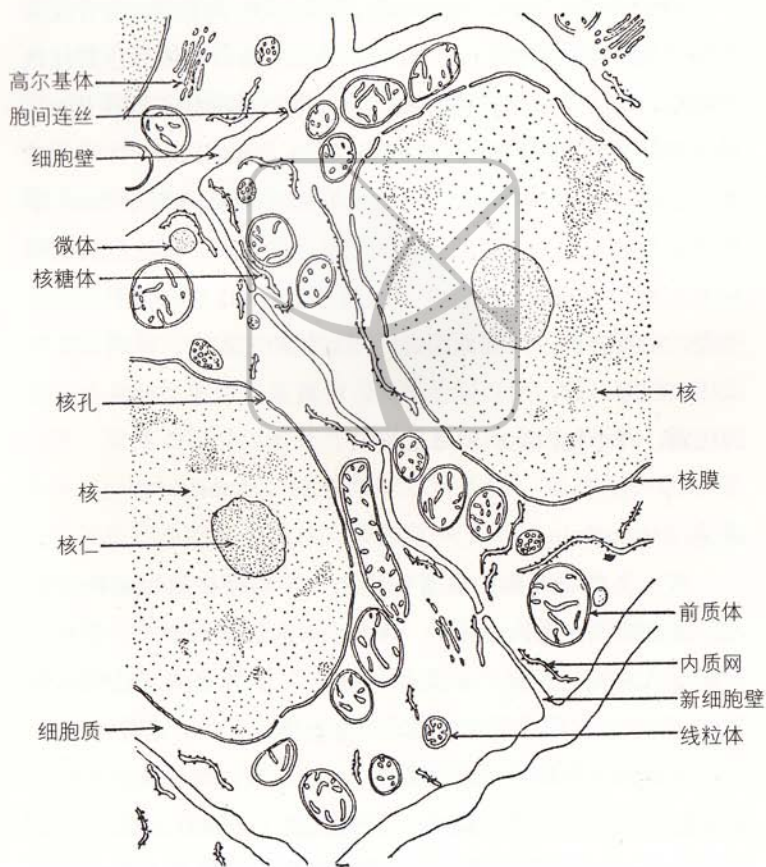
叶绿体内半透明、半流动状态的物质叫做基质, 含有脱氧核糖核酸、核糖核酸以及光合酶。基质中有许多浓绿色圆柱状的颗粒, 称为基粒 (亦称叶绿饼)。每个基粒有多个扁平如钱币重叠起来的片层结构, 称为基粒片层 (lamella)。叶绿体的光合色素 (photosynthetic pigments) 如叶绿素a与叶绿素b主要集中于基粒片层上, 因此基粒是光反应的场所。其他色素包括胡萝卜素和叶黄素。橡胶树每年到了正月和2月, 叶子会由绿变黄, 由黄转红, 主要原因是叶子老化的过程中, 叶绿素受到破坏, 逐渐分解, 然后慢慢消失, 叶黄素于是成为细胞内主要的色素, 叶子也因此而褪绿呈黄。

### 液泡 (Vacuole)

液泡是植物细胞的显著特征之一, 不存在高等动物细胞内。植物细胞在成长过程中, 许多小液泡会逐渐增大、合并, 聚集成大液泡。因此, 成熟细胞中央大部分空间 (约80%至90%) 由液泡占据, 并将细胞质和细胞核挤压到细胞壁边沿。

液泡内含有和细胞质等渗透性的细胞液。细胞液由水分、氨基酸、糖类、丹宁 (tannin)、有机酸 (organic acids)、生物碱 (alkaloids) 和盐类组成。果实的味道主要来自液泡中的糖与有机酸。

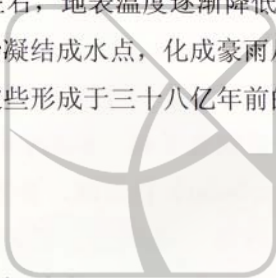
细胞能通过自我复制、自我分裂来繁殖自己。细胞里各种细胞器的活动频繁却有条不紊，内部的网络结构，比电脑内部的构造还要复杂。了解细胞，了解这些非常微小，但又非常重要的生命基本单位，肯定能帮助我们如何培育健硕的作物，提高农作物的产量和品质。



● 细胞结构图。

## 植物组织的结构和功能

当地球起始于大约四十六亿年前时，空气中的氧非常稀薄。那当儿空气的主要成分为氨、甲烷、氮、一氧化碳（carbon monoxide）、二氧化碳、水蒸气与其他气体。地球形成后约一千万年左右，地表温度逐渐降低到 $100^{\circ}\text{C}$ 之下，而空气中的水分也开始凝结成水点，化成豪雨从天而降，在低洼之处汇聚成湖海。这些形成于三十八亿年前的海洋，是地球上原始生命的摇篮。



### 生物组织与细胞群体

最先出现与生命息息相关的化学物质是氨基酸。美国科学家史丹利·米勒（Stanley Miller）于1953年成功以高压电流通通过氨、甲烷与水分的混合体而形成了氨基酸。科学家认为：催化氨基酸进一步聚合为类蛋白质（proteinoid），并将其转化为蛋白质与核酸这两大生命基本物质的原动力，源自原始地球上空的雷电风暴（electrical storms）。生命的雏形或许与病毒（virus）相似，没有细胞的形态与结构，只有核酸与蛋白质外壳（protein coat）。

最早的原核细胞大约形成于三十五亿年前。原始单细胞生

物随后在演化过程中分道扬镳，沿着两条途径发展，其中一条途径保持单细胞状况与繁衍系统，成为单细胞生物如细菌、蓝绿藻和变形虫（amoeba）等。另一条途径则沿着多细胞方向迈进，形成有组织、器官和系统的高等生物，大地也因为形形色色的生命展现丰姿而缤纷多彩。

生物的组织是由许多类型和功能相似的细胞与胞间物质聚合而成的群体。植物组织一般是根据植物内的部位、细胞类型与功能作为分类的基础。最常见的分类法是将植物组织分为两大类，即分生组织和成熟组织。

### 分生组织 (Meristematic Tissues)

所有植物的组织皆源于原分生组织（primary tissue meristem），这些组织在子房（ovary）内的胚形成初期（embryonic development）已出现，并且还遗留下来，其细胞分裂能力异常旺盛。原分生组织可以分为原表皮层（protoderm）、原形成层（procambium）和基本分生组织（ground meristem）三类。原表皮层将分化成植物的皮组织系统（dermal tissue system），而原形成层会继续发展成植物的维管组织输导系统（vascular tissue system）。

至于基本分生组织，则最终形成植物的基本组织系统（fundamental tissue system），负起贮藏水分、养分以及保护与巩固植物的任务。

依据分生组织在植物体内的位置，可以再分为三类：

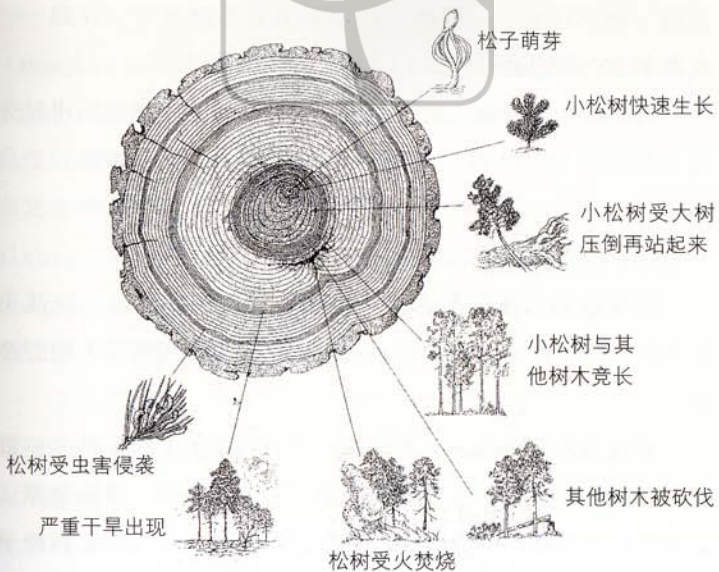
- 顶端分生组织 (Apical Meristems)

这类分生组织的细胞体积小、细胞壁薄、核大，位于

茎尖和根尖的生长点 (initiation zone)。通过细胞分裂不断产生新细胞，顶端分生组织能使根部伸长蔓延，令茎部长高和向上挺伸。顶端分生组织继续生长，带动植物器官如叶与枝的形成。

### • 侧生分生组织 (Lateral Meristems)

植物侧面内的形成层 (cambium) 属于侧生分生组织，其活动能促使茎部和根部变得粗壮。在树干里的形成层和木栓形成层 (cork cambium) 向横的方向不断发展，使树干的直径 (diameter) 日益增长而粗壮。在维管形成层 (vascular cambium) 之内的组织，随着直径的扩大而形成同心层 (concentric layers)。这些同心层也称为年轮 (annual ring)。年轮在温带树木中最为明显，原因是季节的更替，促使春天



● 树的年轮。

形成的大导管细胞 (larger vascular cells)，渐渐组织成较宽的春木 (springwood或earlywood)，与较后由小细胞形成的夏木 (summerwood或latewood) 间隔出现而成为可以计算年代的年轮。单子叶植物 (monocotyledon) 如水稻、甘蔗 (*Saccharum officinarum*，俗称sugarcane)、玉米、稗草等因为没有侧生分生组织，因此无法不断加粗秆茎生长。

#### • 居间分生组织 (Intercalary Meristems)

这类分生组织并不普遍存在植物中。一般禾本科植物 (Poaceae-Grass Family, 旧称Gramineae) 如水稻、大麦、小麦、玉米等的成熟组织之间，都有居间分生组织。在稻叶的鞘基 (sheath base) 部位与茎的基部 (culm base)，居间分生组织进行细胞分裂，能使叶与茎增长。

#### 成熟组织 (Mature Tissues)

成熟组织源自分生组织的细胞分裂活动。成熟组织可以分为三大类：

#### • 保护组织 (Protective Tissues)

位于植物体的表面，保护植物内部纤柔的部分，使其免受外来因素伤害的保护组织，可以再分为表皮组织和木栓层细胞。

表皮组织 (epidermal tissue) 的结构特点是细胞排列紧密，没有细胞间隙，一般形状扁平，缺乏叶绿体，细胞壁厚。表皮组织覆盖植物所有器官，是茎、根、叶、花、果实和种子的最外层组织。

表皮组织能于细胞外壁分泌脂肪性的角质，形成角质层，以减少植物体内水分的散失。在植物根部，表皮细胞向外突出生长，形成根毛（root hair）。这些根梢上细微的丝状延伸物，增加水分和养分的吸收面积。一般植物的水分吸收能力，三分之二依赖根毛；因此，若植物被移植而根部遭受干扰和损伤，造成根毛纷纷脱落，根部将无法有效吸收水分而生长缓慢。

在植物叶面的下方，表皮组织能特化为保卫细胞（guard cells），位于气孔两端，像口腔的两片嘴唇。保卫细胞能开关气孔，控制水分的散失以及气体的交换。

有些植物能于角质层上形成气体和水分皆无法穿透的薄蜡，这层可以防止水分散失的屏障，能保护植物不受干旱、害虫和病原菌的侵扰。

此外，一些植物表皮组织的细胞壁，亦含有木质、粘胶（mucilage）和结晶体（crystals）。表皮细胞也能长出毛状体（trichome，亦称表皮毛）。这些具有各种形状，大小不同的表皮附属物（epidermal outgrowths），具有分泌树脂和其他挥发油脂（volatile oils）的能力。一些肉食植物（carnivorous plants）如猪笼草和毛毯苔等的毛状体，还能分泌酵素（digestive enzymes）来将捕捉的昆虫消化。一般表皮细胞的毛状体具有保护和减低蒸腾作用的功能。

木栓层细胞（cork cells）由木栓形成层所形成。当木质植物根部和茎部在成长过程中不断粗壮，其表皮组织和皮层由于无法继续长出新细胞而破裂或脱落。木栓形成层的薄壁细胞于是进行分裂，形成木栓层细胞。这类细胞的细胞壁内含有木栓质（suberin），使木栓层不透水、不透气和不导热。木栓层细

胞成熟后死亡，细胞腔（cell cavity）内充满空气，因此木栓弹性佳，能保护植物体内柔软的组织免受伤害。木栓能用来制造软木塞和隔音、隔热与绝缘等材料，用途很广。

#### • 输导组织（Conducting Tissues）

输导组织的功能是在植物体内运输水分和各种物质，扮演的角色与动物的循环系统（circulatory system）相似。所有厥类（亦称羊齿植物）、裸子植物（Gymnosperms）和被子植物（Angiosperms）都是具维管束植物（vascular plants），能以维管束进行输导作用。维管束组织可分为木质和韧皮组织两种：

木质部（xylem）是维管植物中负责运输水分和无机盐的组织。种子被包于子房内的被子植物，也就是有花的植物，其木质部是由导管分子（vessel element）、管胞（tracheid）和木纤维（wood fibres）组合而成。以上三种组织分子，统称管状分子（tracheary element）。

导管由管状、横壁有穿孔的细胞两端连接而成。初生木质部（protoxylem）的导管细胞，导管壁内增厚，一般成环状。在后生木质部（metaxylem），增厚情况一般呈梯纹和网纹。成熟的导管没有原生质（protoplasm），导管壁在增厚中木质化，成为长形管道，功能如水喉管，可以任由液体在管内移动。由于导管壁坚实，因此也能在植物体内起支持和巩固作用。

管胞的功能与导管一样，是运送水分和无机盐的管状构造。形态上，管胞不同于管状的导管，是两头尖细的细胞。成熟的管胞也没有原生质，胞壁木质化造成口径缩小，水分能于胞腔（lumen）内自由流动，胞壁有纹孔，可以彼此互通

交流，然而输水能力较导管低。裸子植物如松柏等针叶树木（conifer）以及羊齿植物的输水系统，全赖管胞以纹孔与相邻的细胞相通。

木纤维是构成木材的主要成分。木质的化学结构复杂，由苯基丙烷衍生物（phenyl propane units）的高分子聚合物（polymer）所构成。

韧皮部（phloem）在维管植物中负责将光合作用所生产的有机养料从叶部输送到植物体的各个部位。在被子植物中，韧皮部是由筛管（sieve-tube）、伴胞（companion cells）和韧皮纤维（phloem fibres）组合而成。

筛管是由许多筛管分子首尾相连建构起来。相邻的筛管分子细胞之间，有筛板（sieve plate）分隔。筛板上有许多穿孔，形状像筛子。两个相邻细胞的原生质丝（conducting strands）相通，以利有机养料的输导。

伴胞是位于筛管分子一侧的姐妹细胞，两者皆源于同一个母细胞，而且在生理功能方面密切联系。伴胞的细胞核明显，并且含有许多其他细胞器。伴胞的细胞质浓厚，与筛管壁有原生质丝相连。

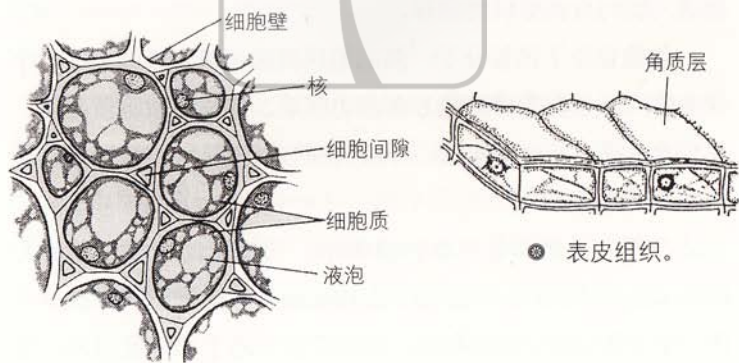
在裸子植物和低等维管植物中，韧皮部的管状分子称为筛胞（sieve cell），其筛域（sieve area）与筛管不同，很少分化，穿孔狭小均一及少变化。韧皮纤维分布于韧皮组织内，保护筛管，减少机械性的伤害。

由木质部、韧皮部及周围细胞构成的维管束，从根部经过茎部连接叶部，使输导组织成为植物体内畅通与统一的整体。双子叶植物（dicot）维管束中的木质部和韧皮部中间有形成层，能增生组织。单子叶植物大多无形成层，不能增生组织。

• 基本组织 (Fundamental Tissues或Ground Tissues)

表皮组织和输导组织以外的全部成熟组织，皆称为基本组织。这些组织的功能是填塞和机械支持植物体，维持植物的稳定和形体。基本组织最常见的是以下三类：

**薄壁组织 (parenchyma)：**薄壁组织是由生活细胞组成的基本组织。这些细胞呈多角形，一般排列紧密，含大量淀粉，主要功能是填充植物体及储存营养。高等植物的皮层和髓 (pith)，叶片里的叶肉 (mesophyll)、果实中的果肉 (pulp)、种子中的胚乳 (endosperm)、根茎 (rhizome)、块茎 (tuber) 和鳞茎 (bulb) 里大部分组织，都是由薄壁组织构成。这类组织的生理机能包括进行光合作用、通气作用、吸收作用和将水分与养分贮存。



● 薄壁组织。

● 表皮组织。

**厚角组织 (collenchyma)：**厚角组织的横切面呈多边形，其细胞壁含纤维素，细胞角落的细胞壁增厚。这类组织通常存在表皮组织之下以及皮层之中。草本植物 (herbaceous

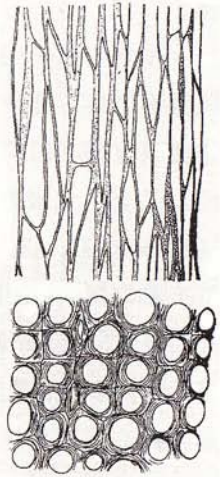
plants) 在成长初期, 主要依赖厚角组织的支持来挺伸茎和叶。

**厚壁组织 (sclerenchyma):** 厚壁组织内含木质素, 整个细胞壁均匀增厚, 并因木质素不断沉积, 导致原生质消失, 因此这类组织的成熟细胞通常没有生命力。纤长的厚壁细胞组成厚壁纤维 (sclerenchyma fibre), 而细胞直径大小一致的则称为石细胞 (sclereid 或 stone cells)。石细胞是坚果外壳的主要组织, 同时也普遍存在植物体内和坚硬种子的种皮 (seed coat 或 testa) 里。

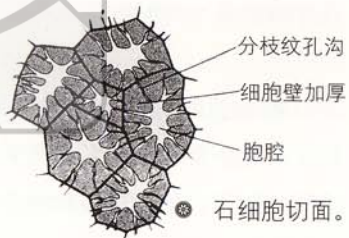
农作物的秸秆中, 纤维素和半纤维素约占30%至45%, 木质素约占9%至14%, 灰分 (ash) 中硅酸盐 (silicate salts) 高达30%。

农民在收获之后在田野里放火烧秸秆, 不但造成烟雾污染环境, 而且使植物组织中的氮和硫在高温状况下消失于空气中。若以稻草还田来取代放火烧田, 翻入土中的稻草能为土壤中的微生物

提供碳源, 让秸秆中的有机物在分解中缓缓释放养分, 促进有机物的更新。有机质含量增高, 能令土壤疏松, 有利根系的发



● 厚角组织。



● 石细胞切面。




● 厚壁组织。

育。

植物组织中的纤维素和木质素，经过一些微生物的酶系统分解之后，能使这些高分子化合物变成有机酸、糖类等动物能吸收和利用的营养物质。菌体的大量繁殖，若能善加利用，又会产生很好的蛋白质、维生素（vitamins）和抗生素（antibiotic），供人类利用。

植物组织中的碳水化合物，也可以通过气化技术，变成可燃的甲烷，成为干净的能源。植物秸秆也能通过细菌的发酵作用，进行草秆酒精生产，将植物废料转化为很有经济价值的工业原料。

### 保存优良生物资源



植物组织内保存着优良的生物资源。认识这些组织的结构，有助于提高作物的品质和产量，以及利用作物的每个部分来制造财富、保护环境和改善生活。

## 植物的器官和系统

生命的基本单元，是极其微小的细胞。许多形态相似的细胞结合在一起，就形成了组织。不同的组织互相配合协调，共同进行特定的功能，就形成了器官。

当数种器官密切联系，进行一项重大的生理功能，就建构了系统。以动物为例，不同的组织，例如肌肉组织、神经组织和结缔组织结合成肾（kidney）；这个器官与膀胱（bladder）、输尿管（ureter）以及尿道（urethra）互相结合起来，就形成了泌尿系统（urinary system）。

植物也和动物一样，由不同的细胞聚合成组织，再由组织形成器官与系统。维管束植物基本上由三种主要器官，即叶（leaf）、茎（stem）和根（root）组成。这些器官互相协调和配合，构成三大系统，即干茎系统（shoot system）、根部系统（root system）和生殖系统（reproductive system）。

植物的器官于种子内已逐渐定型。传粉作用（pollination）完成后，花粉管内的雄核（male nucleus）与胚珠（ovule）内的卵细胞（egg cell，亦称female gamete，即雌配子）融合为合子（zygote），然后不断地进行细胞分裂，发育成胚（embryo）。以水稻为例，胚由胚叶（epiblast）、胚芽（plumule）、中茎（mesocotyl，亦称中胚轴）和胚根（radicle）组合成一体。这些雏型器官呈圆管状。在萌芽过程

中，种子内的胚芽与胚根的分生组织迅速育成新的细胞，形成叶、茎和根等器官，并且蓬勃地以自营方式开始成长、茁壮。

## 干茎系统

干茎系统由茎、枝（branches）和叶组成。茎是植物的骨干，下端与根部连接，上端形成带叶的枝条。茎的主要功能之一是开枝散叶，让叶片井然有序地分布，充分利用阳光来进行光合作用，使花朵便于传粉受精（fertilisation），并且帮助果实将种子传播。

茎包括主干和侧枝。主干（main stem）由种子的胚芽发育而成，干上的芽逐渐成长，就形成侧枝（lateral branches）。禾本科植物如水稻不在主干上分枝，而是从基部长出新的旁枝，称为分蘖（tillers）；当分蘖蓬勃成长之后，原本的主茎与分蘖在形态上极相似，令人无法分辨。乔木（tree）的主干与侧枝大小分明，侧枝不断生长分化，长出新的枝条，向四方舒展，最终形成大树的树冠（canopy）。

在漫长的进化过程中，植物的茎为了适应环境以利生存而出现了显著的变态（metamorphosis）。生长在地面上的枝条，展现的变态包括形成茎卷须（tendrils）和枝刺（thorns）。葡萄（*Vitis*）能借卷须蔓生，九重葛（*Bougainvillea*）则利用钩状枝刺向上攀爬。生长于表土下的地下茎（subterraneous stems），出现的变态更奇异，马铃薯（*Solanum*）长出的块茎之上有凹陷的芽眼（eyes），每个芽眼内有数个侧芽（lateral buds）和鳞形叶（scalelike leaves）。洋葱（*Allium*）能形成厚

大多汁的鳞片叶 (fleshy scale leaves)，结出层层互叠的鳞茎。芋 (*Colocasia*) 能形成节和节间明显的肥硕球茎 (corms)，而白茅 (*Imperata*) 和竹 (*Bambusa*) 则能在土壤里以根茎横向延伸。

双子叶植物的茎和枝由表皮 (epidermis)、皮层和维管柱 (vascular cylinder, 亦称中柱) 结合而成。在茎的横切面上, 双子叶植物的维管束排列成环状, 韧皮部在外, 木质部在内, 两者之间保留一层具有分生能力的维管束内形成层。单子叶植物, 例如水稻和玉蜀黍等的茎, 是由表皮、维管束和薄壁组织组成。单子叶植物与双子叶植物的茎最明显的差异是: 在横切面上, 单子叶植物的维管束是分散的。有的植物如水稻的茎中空成髓腔 (medullary cavity), 茎内有胞间隙 (intercellular space) 以及发达的通气组织。水稻茎部表皮内的厚壁组织细胞 (collenchyma) 含有叶绿体, 因此茎秆呈绿色。

叶是植物进行光合作用和蒸腾作用的主要器官。植物利用阳光在叶绿体内制造葡萄糖, 并以葡萄糖作为原料, 合成淀粉、脂肪、蛋白质和纤维素与其他有机物质。植物也通过叶片, 将根部吸收的水分和无机盐, 沿着导管 (xylem vessels) 运转到枝和叶等器官, 然后再由叶面的气孔将水分连同来自阳光的热能, 扩散到植物体外, 以降低植物内部的温度。

高等植物的叶由叶片 (lamina, 又称 leaf blade)、叶柄 (petiole) 和托叶 (stipule) 组成。托叶的功能是保护成长中的嫩叶, 因此当叶子成长之后, 常常自行脱落。以上三个部分皆齐全的叶子称为完全叶 (complete leaf), 棉花的叶子就是最好的例子。油菜的叶子缺叶柄, 因此称为不完全叶 (incomplete leaf)。禾本科植物如水稻的叶子基部发展为叶

鞘，将茎围裹。

若叶片单独存在，这种类型的叶子称为单叶（simple leaf），红毛丹、榴梿、芒果（*Mangifera indica*）等的叶子就是最好的例子。如果两个叶片或更多的叶片共生于同一的叶柄上，这种叶子则称为复叶（compound leaf），豆科植物的叶就是明显的例子。

叶片的形态差异很大，有的成带形，有的成卵形，有的是心脏形，有的是掌形。叶的边缘有的完整平滑，有的呈波状、齿状或锯齿状等。叶片内有叶脉（veins），叶脉的分布方式称为脉序（venation）。大多数单子叶植物如玉蜀黍、高粱、水稻、大麦、小麦等的叶脉平行分布，叫做平行脉序（parallel venation）。大多数双子叶植物如橡胶、可可、山竹、豆类等的叶脉交错相连，叫做网状脉序（reticular venation）。

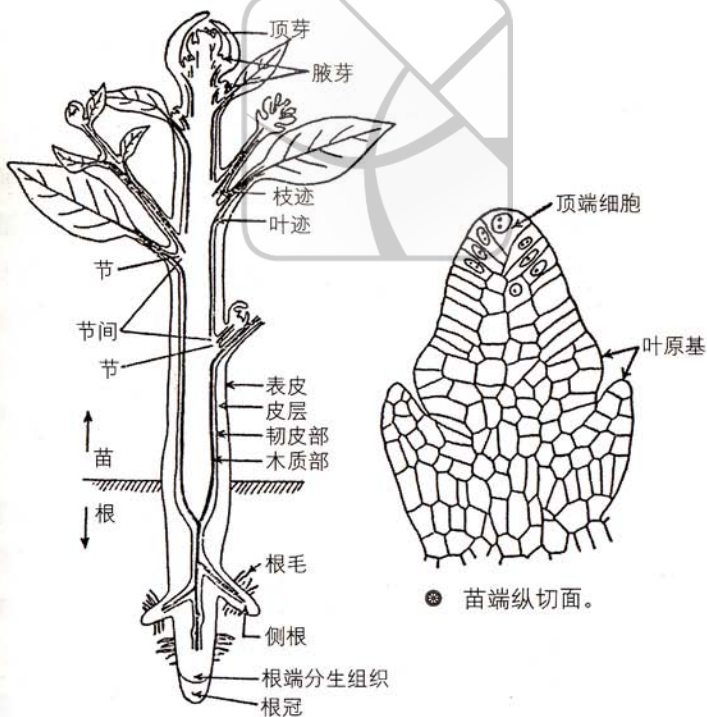
叶片的表面可分为上表皮和下表皮，表皮细胞之间有许多气孔，是植物与大气层进行气体交换的通道。

上下表皮之间的部分称为叶肉，由含有叶绿体的薄壁细胞所组成。许多植物的叶肉可以分为栅栏组织（palisade）和海绵组织（spongy parenchyma）两类。栅栏组织排列松散，细胞间的空隙与气孔相通。叶肉内的叶脉由维管束组成，通过叶柄与枝干的维管组织相连。

## 根部系统

正如干茎系统在成长过程中不断长出新的枝叶而姿态万千，根部系统在土层中也四处延伸，愈扎愈稳。

根是植物在土壤中固定植株与吸收水分和无机盐类的主要器官。根部系统可以分为直根系 (tap root system) 和须根系 (fibrous root system) 两类。双子叶植物如花生、杨桃、苹果、桔子等都属于直根系, 其主根 (main root) 和侧根 (lateral roots) 在形态上具有显著差异。单子叶植物如水稻、玉蜀黍、椰树、油棕 (*Elaeis guineensis*, oil palm, 马来名称为kelapa sawit) 等都拥有须根系, 其主根生长缓慢, 或在成长中死亡而消失, 由茎的基部长出粗细和长短都相差不大的不定根 (adventitious roots) 取而代之, 建构起整个根部系统。



● 整个植株 (被子植物) 纵切面。

直根系与须根系的主要差别之一，是直根系一般具有深根性，主根和侧根能深入土壤，吸收不同土层中的养分和水分。例如一株在沙壤中生长的果树，如果树高约4米，树冠扩展范围也4米左右，其主根却可深达5米，而根系横向扩展范围可达9米。须根系一般具有浅根性，例如水稻，植株高达80至100厘米时，其根部最深只达60厘米左右。

植物的根尖（root tip）是根部最活跃的部分。根尖前端有套子似的根冠（root cap），能分泌出黏液和有机酸，以助根尖在土壤中推进，并且保护根冠内不断进行细胞分裂的顶端分生组织（apical meristematic tissues）。根毛区（root hair zone）离根的前端不远，其表皮细胞长出密集的根毛、长度约0.5至1厘米，具有很强的吸水能力。根毛寿命很短，一般只生存数天。老的根毛衰亡之后，根尖的伸长区会形成新的根毛取而代之。

根部由表皮、皮层和中柱组成。中柱分中柱鞘（pericycle）、木质部和韧皮部三个部分。中柱鞘在中柱的最外层，由数层薄壁细胞组合起来，具有分生能力，可以形成不定根和侧根。中柱鞘内的木质部呈束状，在横切面上，其轮廓呈星状，而韧皮部则间隔分布在木质部之间，也即是星芒之间的位置。有些植物的根部中心，由薄壁细胞（parenchyma）和厚壁细胞组合成髓。

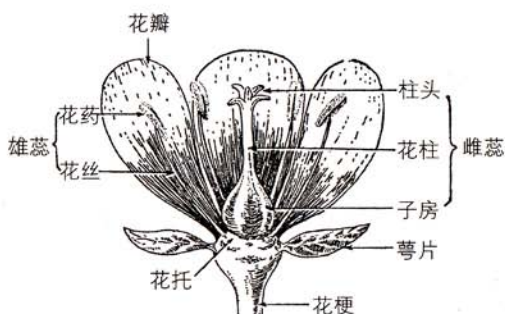
在进化过程中，许多植物的根部为了适应特殊的生态环境而发生变异。例如萝卜（*Raphanus*）、胡萝卜（*Daucus*）和番薯（*Ipomoea*）等的根，变态为能够蓄藏大量营养物质的贮藏根（storage roots）。这些膨大的肉质根内的薄壁组织很发达，贮藏大量淀粉和糖类。玉蜀黍在土层上的节能长出不定根，深入土壤以支持植株，这些不定根称为支柱根（prop root）。

红树 (mangrove) 的侧根能突出沼泽土表, 从大气中获取氧气, 这些根称为呼吸根 (pneumatophores)。常春藤的茎上长出的不定根, 能使植株牢附于别的植物或墙壁之上, 这类根称为攀缘根 (climbing roots)。许多乔木与灌木 (shrub) 的根部由真菌包裹, 菌丝 (hyphae) 进入根部的皮层, 形成菌根 (mycorrhiza), 菌根能取代根毛吸收水分和无机盐。

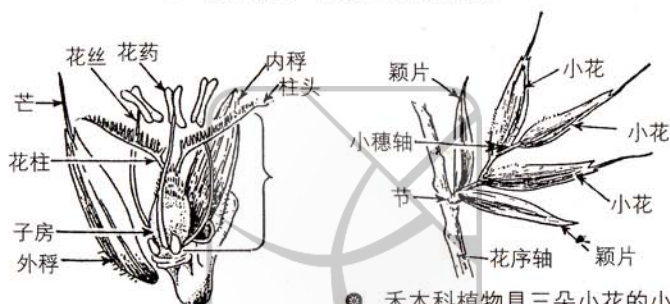
## 生殖系统

植物的干茎和根部系统都具有繁殖的功能。为了延续后代, 被子植物通过开花 (anthesis或flowering)、传粉、受精、结果 (fruit formation) 和形成种子 (seed formation) 来完成生命的历程。花朵是有性繁殖 (sexual reproduction) 的主要器官, 一般由花柄、花托、花萼、花冠、雄蕊和雌蕊结合而成。

花柄 (peduncle或pedicel) 亦称花梗, 是将花和茎连接起来的小枝, 功能是将养分从茎部向花朵输送。花托 (receptacle) 形成于枝的顶端, 花萼、花冠和蕊皆分布其上。有的植物如无花果 (*Ficus carica*, 俗称fig) 的花序柄 (inflorescence stalk) 特别发达, 能将花的其他部分包藏起来。花萼 (calyx) 结构和叶相似, 由萼片 (sepals) 组成, 功能是保护幼花。花冠 (corolla) 长于花萼的内层, 由花瓣 (petals) 组成。雄蕊 (stamen) 分为两个部分, 即花丝 (filament) 和花药 (anther)。花药一般具有二至四个花粉囊, 能产生花粉粒 (pollens)。雌蕊 (carpel, 亦称心皮) 可分为三个部分, 即子房 (ovary)、花柱 (style) 和柱头



● 被子植物一朵典型花的构造。



● 禾本科植物一朵小花的小穗。

● 禾本科植物具三朵小花的小穗。

(stigma)。柱头在传粉过程中承受花粉粒，能分泌水分、激素和酶等物质，以促进花粉附着和萌发。花粉管通过花柱进入子房，与胚珠接触，让花粉管里的两个精子 (male gamete, 亦称雄配子)，与卵细胞和核极融合，完成受精作用。

子房发育而成的果实称为真果 (true fruit)，例如芒果、红毛丹、桔子等；有的植物的果实由花托或花的其他部分与子房结合而成，这些果实则称为假果 (pseudocarp, 亦称spurious fruit或false fruit)，苹果、梨子和无花果就是很好的例子。

由胚珠发育而成的种子，是植物的繁殖器官。单子叶植物的胚只有一片子叶 (cotyledon)，其形如盾，因此叫做盾片

(scutellum)。盾片的功能是吸收贮存于胚乳内的营养物质，为胚的发育提供养料。双子叶植物的胚有两片子叶，没有胚乳，营养物质皆贮藏在肥硕的子叶里。

种子的外壳称为种皮，外层含厚壁组织，保护种子内的胚和子叶。种皮上一般有种脐(hilum)和种孔(micropyle, 亦称珠孔)。种子萌芽时，通过种孔吸收水分，增强酶的活性，以助贮藏物质进行水解(hydrolysis)，然后将养料从子叶输往胚芽和胚根。

植物以茎干或根部来繁衍时，称为无性繁殖(asexual reproduction)。许多草类的地上茎(stolon)被切成小段之后，都能长成新的植株。其他部分如地下茎和块茎切除后，都能继续生长繁衍。有的植物如落地生根(*Bryophyllum*)，能从叶缘长出不定根和新叶，形成小植株(plantlet)。

多认识植物的器官与系统的结构和功能，就能对一些有趣的生理现象进一步深入了解。例如，水稻的花，靠自己花朵里的花粉结子，这些自花授粉植物的花朵都很小和不显眼。玉蜀黍的花靠风来传粉，这些风媒花也长得小和不美丽。然而美丽的菊花和凤凰木，因为要靠昆虫来传粉，因此不但花朵又大又鲜艳，而且还有花蜜可吸引昆虫。

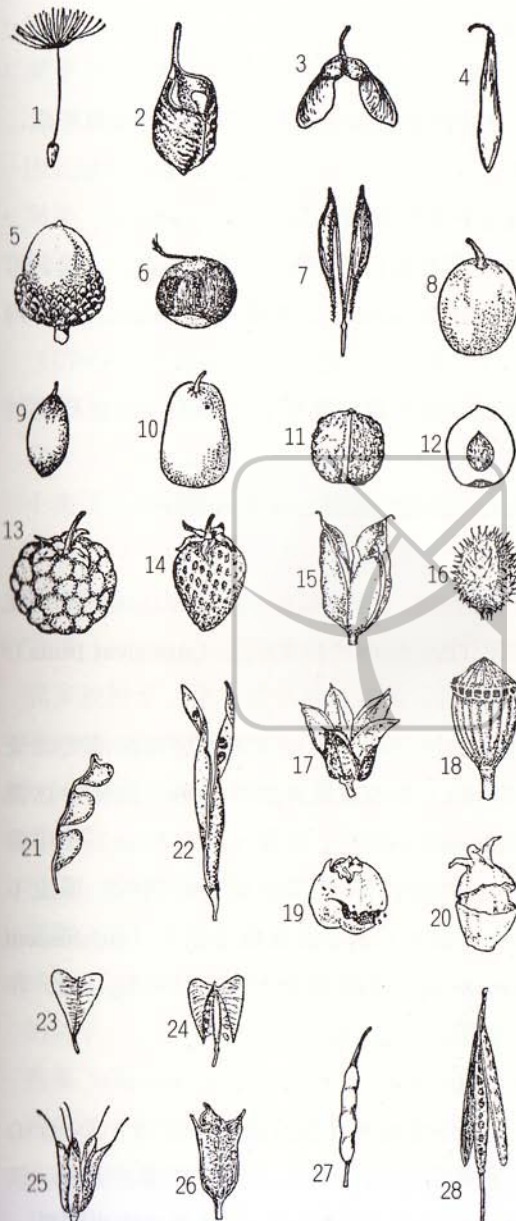
另一个例子是：雨树的树干愈大愈粗壮，然而水稻、玉蜀黍和其他草本科植物的茎干，长到一定程度就不再粗壮。这种现象是由于双子叶和单子叶植物的干茎系统有很大的差别。雨树是双子叶植物，其维管束的木质部和韧皮部之间夹着形成层。形成层不断进行细胞分裂，产生新的韧皮部和木质部，树干的圆周于是逐渐加宽。然而草本科植物的维管束没有形成层，所以长至一定程度之后，就不会再粗壮了。

## 有花植物的果实

在千姿百态的种子植物世界里，只有最高级的有花植物（flowering plants，亦称显花植物）能够绽放形态各异的真花。典型的花由花柄、花托、花萼、花冠、雄蕊群（androecium）和雌蕊群（gynaecium）组合而成。

雌蕊群位于花的中央，是所有雌蕊（pistil）的总称。雌蕊则由一个或数个心皮组成。每个心皮实际上是组成雌蕊的单位，代表一个单一的大孢子叶（megasporophyll）两侧边缘愈合的容器。心皮的子房内包含胚珠，胚珠在传粉受精成功之后形成种子，而子房逐渐发育成果实。由于种子在果实内获得果皮的包围和保护，因此有花植物也称为被子植物。

同属于种子植物（*Spermatophyte*, seed-plants）的苏铁（*cycas*）、银杏（*ginkgo*，俗称白果）、松树（*pine*）、柏木（*cypress*）、刺柏（*juniper*）、云杉（*spruce*）和冷杉（*fir*）等，其大孢子叶上生有裸露的胚珠，胚珠内的卵细胞完成受精作用后，产生裸露的种子。由于种子没有果皮包被保护，因此称为裸子植物。裸子植物的生殖器官不称为花，而称为孢子叶球（*strobilus*，一般叫*cone*，亦称球花或球果）。球果可分为雄性的花粉球果（*male cone*）和雌性的种子球果（*female cone*）。



- 1-2 瘦果
- 3-4 翅果
- 5-6 坚果
- 7 双悬果
- 8 浆果
- 9-10 瓠果
- 11-12 核果
- 13-14 聚合果
- 15-20 蒴果
- 21-22 荚果
- 23-24 短角果
- 25-26 蓇葖果
- 27-28 长角果

● 有花植物的果实。

## 子房发育形成果实

在缤纷绚丽的被子植物中，许多果实皆由子房发育形成，这类果实称为真果。

所有真果皆由三个主要部分组成：

- 果皮 (pericarp)：果皮源自子房壁 (ovary wall)。通常可分为三层，即外果皮 (exocarp)、中果皮 (mesocarp) 和内果皮 (endocarp)。
- 种子：种子由胚珠受精后发育而成。种子的外包被称为种皮，由珠被 (integument) 形成。
- 残留的花柱与柱头，或花柱脱落之后留下来的痕。

真果可依据子房的结构与果皮组织在成长中出现的分化现象和性质，分为干果 (dry fruits) 和多汁果 (succulent fruits) 两类。

干果在发育成熟的过程中，果皮因为水分逐渐消失而变得坚硬和干燥。成熟的干果若果皮开裂，将种子散播，这类干果称为裂果 (dehiscent fruit)，菜豆 (*Phaseolus*) 和田菁 (*Sesbania*) 就是明显的例子。干果的果实成熟后，果皮不开裂，种子留在果内不散出，这类干果称为闭果 (indehiscent fruit)，紫檀 (*Pterocarpus*，俗称青龙木或清明树 *angsana*) 和水稻、玉米、高粱等皆结成此类果实。

干果一般再分为以下几类：

- 瘦果 (achene)：属于果皮不开裂的瘦果，由一个或多个心皮形成，每个瘦果内只有一枚种子，由薄薄的果皮紧抱。铁线莲 (*Clematis*)、向日葵 (*Helianthus*) 的果实皆为瘦果。

- 坚果 (nut)：果皮木质坚硬，不开裂与具单种子。栗子 (*Castanea*, 俗称chestnut) 是最好的例子。栎树 (*Quercus*, 亦称oak) 的坚果生于一个硬而木质化的壳中，因此也称为榧果 (acorn)。
- 翅果 (samara)：不开裂、具单种子的干果，本质与瘦果相似，唯一的差别是子房壁扩张，延展成翅状，能随风传播，扩大散布的空间。槭树 (*Acer*, 亦称枫树maple) 和榆树 (*Ulmus*, 亦称elm) 的果实即属此类。
- 颖果 (caryopsis)：不开裂，具单种子的干果，果皮与种皮愈合在一起而无法分离。禾本类植物如水稻、玉米、大麦、小麦等的果实都是颖果。稻的颖果外有一对苞片 (bract)，称为颖片 (glume)。颖果成熟后颖片形成了谷壳，与颖果合称稻谷。
- 荚果 (legume)：果实由单心皮子房发育形成，具有一枚或多枚种子。果实成熟后，多数会沿果皮的背缝和腹缝同时开裂。豆类植物如大豆 (*Glycine max*) 和花生 (*Arachis hypogaea*) 等都结出这类果实。
- 蓇葖果 (follicle)：开裂干果的一种，由单心皮的雌蕊发育形成，内含一枚或多枚种子。成熟时沿心皮背缝或腹缝纵向开裂。有时，多个心皮相互分离 (apocarpous) 的蓇葖果聚成头状 (head)，香料中的八角 (*Illicium verum*) 就是很好的例子。
- 蒴果 (capsule)：开裂干果的一种，由包含两个或多个拼合贴生在一块的合心皮子房 (syncarpous ovary) 发育而成。果实成熟时子房以纵裂、孔裂和中间横裂等多种方式开裂，如马齿苋。

- 角果 (silicle和silique)：开裂干果的一种，由两心皮的雌蕊发育形成。成熟时沿着两条腹缝裂开。十字花科的果实属于此类。

## 多汁果皮保持肉质化

多汁果与干果最大的差别是，在发育成熟的过程中，果皮保持肉质化，常常结出肥厚多汁的果实，因此，多汁果亦称为肉果 (fleshy fruit)。

多汁果一般再分为以下几类：

- 核果 (drupe)：一般由单心皮雌蕊 (monocarpellary pistil) 发育而成的肉果，内含一枚种子；或由合心皮雌蕊 (syncarpous pistil) 育成的多枚种子肉果。核果成熟后，外果皮呈膜质；中果皮呈多汁肉质，可食用，其味酸甜不一；内果皮木质化，异常坚硬，包住种子。同属于李 (*Prunus*) 的果树，如杏 (apricot)、梅 (mumeplant, 亦称Japanese apricot)、李 (plum)、桃 (peach)、樱桃 (cherry) 都归类为核果。在热带的水果中，芒果就是多汁甜美的核果，其中有的品种因为中果皮多纤维与含树脂，品质较差。椰子 (*Cocos nucifera*, coconut, 马来名称是kelapa或nyior) 也是核果，外果皮呈绿色或黄色，中果皮完全纤维化，可以制成椰皮绳。内果皮坚硬如石，故称为石状内果皮 (stony endocarp)。其内有乳白色的椰肉和椰水，是种子的胚乳。有的核果，例如山莓 (*Rubus*, 亦称raspberry) 是由一朵花中的离心皮 (apocarpous pistil) 发育而来的小核果

(*drupelet*)，因此称为聚成核果 (*drupecetum*)。

- 浆果 (*berry*)：由单心皮或合心皮雌蕊形成，内含多枚种子。除了外果皮，果内的其他部分都肉质化，因此没有坚硬的内果皮保护种子。一般种子的种皮坚实，免除种子在散布中受损。最常见的浆果是葡萄和香蕉 (*Musa*)。

柑桔属 (*citrus*) 植物的果实也是浆果的一种。这类浆果由多心皮具中轴胎座 (*axile placenta*) 的子房发育而成。其外果皮为革质、表皮层上覆盖着厚厚的角质。外果皮之内有油腺 (*oil glands*)，能散发出芬芳的香气。中果皮髓质，由白色的厚海绵状组织构成。内果皮呈膜质，包裹着由多个心皮形成的节片与其中的汁囊。汁囊来自子房内壁的多细胞毛茸 (*multicellular hairs*)，果汁随着浆果逐渐成熟而积累与贮存于膨胀的毛茸中。这种特殊的浆果称为柑果 (*hesperidium*，亦称橙果)。

## 非子房发育的假果

并非所有被子植物的果实，都是由子房发育而成的真果；有的植物除了子房以外，也能由花托、花萼、花冠或整个花序 (*inflorescence*) 发育为果实。这些子房以外的其他结构形成的果实，称为假果。

- 源自花托的假果 (*receptacular pseudocarp*)：果实源自膨大的花托，而子房则深藏于花托之中，苹果 (*Malus*) 和梨 (*Pyrus*) 是这类假果的典型代表，因此称为梨果 (*pome*)。梨果的外果皮、中果皮和花托全部肉质化，因

此无明显界限，只有内果皮木质化，保护着果心（core）内的种子。

有的植物的花中有多枚离生的雌蕊，每一雌蕊的子房形成细小的瘦果，聚合于多汁的肉质花托（succulent receptacle）上，这种假果称为聚合果（aggregate fruit），亦称附果（accessory fruit）。草莓（strawberry）就是聚合果。

黄瓜（*Cucumis sativus*）等葫芦科植物，花朵具有下位子房（inferior ovary），也就是说子房位于花萼与花冠之下，花托与子房共同参与果实的形成，这类果实称为瓠果（pepo）。

- 源自整个花序的假果（inflorescent fruit，又称infructescence）：整个花序发育成肉质与多汁的果实，这类假果称为复果（multiple fruits）或聚花果（collective fruits），无花果和黄梨都是典型的例子。

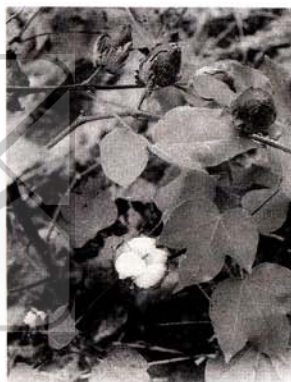
无花果长出无数细小的花，聚生于肉质宽大的花序上，并被这个边缘向内弯曲成瓶状的花序包围在里面，整个果实的形貌如中空的梨子。弯曲成梨状的花序有个小口，并由许多互相交接的鳞状苞片封盖。无花果的小花分为雄花与雌花，花的传粉通过一种细小的昆虫fig wasps（*Blastophaga*）来完成。无花果和其他榕属（*Ficus*）的果实都称为隐头果（syconus）。

黄梨（*Ananas comosa*, pineapple）的肉质花序轴上遍布着以螺旋式排列的无柄红紫色小花。在成熟的过程中，花序轴不断膨大，与小花的下位子房合生，形成内部多汁，外披硬皮（hard rind）的聚合果。果实的硬皮由每朵小花的花萼与苞片结合而成。黄梨和其他类似的果实，如菠萝蜜

(*Artocarpus heterophyllus*, 即nangka) 和桑 (*Morus alba*) 等, 特称为椹果 (sorus)。

果实和种子通常是受精作用的产物。在受精作用之后, 种子的正常发育对果皮的发育能起促进作用。在高等植物体内, 生长素 (auxins)、赤霉素 (gibberellin A, 简称GA) 和细胞分裂素 (cytokinin, 亦称开生素) 于成长中的种子内合成, 这些激素能使子房膨大, 形成果实。因此, 若果实内一侧中的种子因受精不良无法发育, 那一侧子房的生长受阻, 即形成一侧大另一侧小的果实。

植物激素间的相互作用复杂, 细胞分裂素能消除离层酸 (abscisic acid) 诱导离层 (abscission layer) 的形成。因此, 没有正常受精的花, 脱落酸不受其他激素抑制而活跃于花梗基部, 刺激离层的产生, 结果花朵在缺水的情况下纷纷脱落, 无法结出果实。



● 棉花经过赤霉素处理后, 蕾铃脱落现象减少。

## 单性结实植物无种子

在大自然中, 有些植物能完成单性结实 (parthenocarpy), 也就是说, 不需经过受精作用而形成果实, 这些自发的单性结实植物包括香蕉、柿子、黄梨和黄瓜。这种果实内无种子。无子单性结实可以通过人工授粉, 利用死亡的花粉或经过改良的花粉, 或不同种类植物的花粉, 来诱使原本无法单性

结实的植物形成无种子的果实。

单性结实也能通过激素的施用来完成，例如未经受精的番茄 (*Lycopersicon esculentum*)，经过生长素处理，就能结实。这种现象进一步展示受精作用能令激素产生，从而诱导果实组织的形成。然而，利用生长素来达致单性结实必须小心处理。以生长素为例，低浓度的2, 4-D (2, 4-dichlorophenoxy acetic acid) 能促进无子果实的发育。然而，浓度稍高时，则将引发根尖膨大，丧失吸收水分和养分的能力，并且造成叶片畸形，干茎扭曲等生理反常的现象。更高的浓度将造成植物枯黄、萎缩和凋残。

利用现代生物学进行育种工作，能生产最高品质的无子果实。例如从秋水仙 (*Colchicum autumnale*，俗称meadow saffron) 根部提取一种称为秋水仙素 (colchicine) 的生物碱，来抑制核分裂中纺锤体的形成，使体细胞的染色体加倍。以秋水仙素萌芽的种子或幼苗，能导致二倍体 (diploid) 的普通有子西瓜变成四倍体 (tetraploid)，然后再以四倍体的西瓜与二倍体的西瓜杂交，产生三倍体 (triploid) 的种子。三倍体即染色体是单倍体 (haploid) 数目三倍的核、细胞或生物体。由于缺乏同源染色体，三倍体不具繁殖能力。这种经过改良的三倍体西瓜，会结出无子果实。

多认识遍布全国的各种各样果类，并且进行深入的调查和研究，探讨这些果类的经济潜力，对具有高价值的种类进行品种改良，提升品质和产量，发展高效农业，积极推动商品化生产，面向出口，开拓海外市场，才有可能在剧烈竞争中克服严峻的问题，接受全球化所带来的挑战。

## 有花植物的种子

位于印尼爪哇和苏门答腊之间的巽他海峡（Strait of Sunda），有一座曾经震撼世界的火山岛。大约一百万年前，巽他海峡的海底火山开始活跃，从地心深处不断地喷出溶岩。这些浓稠的岩浆从地壳的裂隙喷涌而出之后，在海底凝固，并且逐渐增高，终于形成了突出海面1800米高的火山岛。这座火山岛随后发生大爆发，碎裂成四个相邻的岛屿。多年之后，海底又再出现三个圆锥形的火山丘，涌出的溶岩四处扩散，将四个小岛连成一体。岛上最高的山，海拔813米，称为克拉卡多火山（Krakatoa）。这座貌不惊人的火山于1883年5月20日突然大爆发，滚滚浓烟直冲至离地50公里的高空，爆炸声响彻云霄，甚至远在3500公里外的澳大利亚居民都听到巨响。火山灰遮天蔽日，附近地区被黑暗笼罩了六十个小时。火山灰随风飘扬，受其覆盖的面积广达80万平方公里。

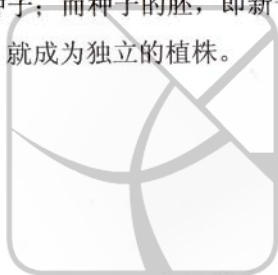
克拉卡多火山的大喷发，造成整个岛被熔岩铺遍，熔岩的平均厚度约30米。大爆发彻底摧毁了岛上所有的生命，动物和植物在长达五年期间无法重现生机。

然而，克拉卡多火山爆发十年之后，奇迹出现了。绿色植物开始在岛上扎根，红树、椰树和各种杂草开始在焦土上繁衍。这些植物的种子，靠风力、潮水和迁飞的鸟类，从别的地方降临这个曾经一度死寂的孤岛。五十年转瞬即逝，这个曾经

一度荒凉如月球表面的火山岛，竟然四处生机蓬勃，绿意盎然。

克拉卡多火山岛上的植物，是以种子严密的结构，将物种的基因安全地贮存于受到种皮保护的胚里，然后通过自然界的的神奇力量，以有效而完善的传播途径抵达火山岛，绿化了这片不毛之地。

有花植物的种子，其形成的过程确实令人叹为观止。当花朵内的雄蕊和雌蕊发育成熟，来自雄蕊的花粉落在雌蕊的柱头上，完成传粉和受精的有性生殖过程后，子房里的胚珠逐渐发育成果实包裹的种子；而种子的胚，即新一代植物的幼体。这个幼体不断生长，就成为独立的植株。



## 花粉的形成

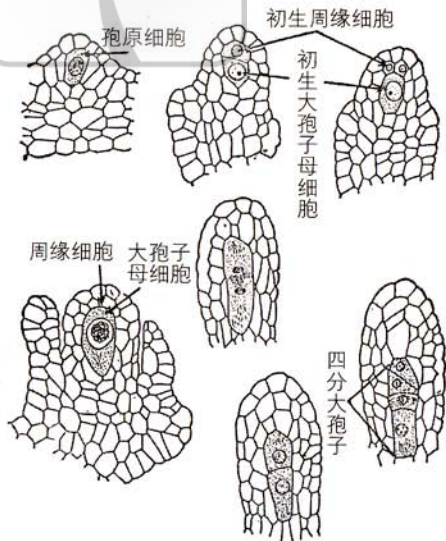
雄蕊的花药，通常包含四个花粉囊（pollen sac），里面的花粉母细胞（pollen mother cell），经过两次连续的细胞分裂，染色体的数目减半，由二倍体母细胞产生四个单倍体的小孢子（microspores）。这四个小孢子随后彼此分离，逐渐形成单核花粉粒。花粉粒内壁（intine）单薄，外壁（exine）厚实，有的光滑，有的布满小刺或具纹孔。每个花粉粒接着进行有丝分裂，形成两个细胞，大的细胞称为营养细胞（vegetative cell）或管细胞（tube cell），小的称为生殖细胞（generative cell）。生殖细胞再进行第二次有丝分裂，形成两个精子。精子就是雄配子，而花粉就是涵容精子的雄配子体（male gametophyte）。生殖细胞壁逐渐消失，变成裸细胞。因此，

成熟的花粉里，有一个营养细胞核（亦称花粉管核）和两个精子。

## 胚珠的形成

胚珠位于子房中，在子房壁的衍座上产生。胚珠有一或二层珠被包围着珠心（nucellus）。胚珠顶端有珠孔。靠近珠孔处的珠心中产生大孢子母细胞（megaspore mother cell），这个细胞经过减数分裂形成四个大孢子（megaspore），其中三个退化，只有一个大孢子继续成长为胚囊（embryo sac），胚囊即雌配子体（female gametophyte），而卵（ovum，又称 oosphere）就是产生于胚囊内的雌配子。胚囊刚成形时，是一个大型单核细胞。

这个大细胞在进行有丝分裂后，形成两个细胞核，分别迁移至胚囊两端。这两个细胞核个别再分裂两次，形成八个细胞核。接着胚囊两端各有一个核移往胚囊中央，称为极核（polar nuclei）。接近珠孔的三个



● 大孢子的形成过程。

核形成三个细胞，中央较大的称为卵细胞，旁边是两个助细胞（synergids），这三个细胞合称卵器（egg apparatus），而胚囊另一端的三个细胞由细胞质包围，叫做反足细胞（antipodal cells）。

## 传粉和双受精

有花植物的传粉以两种方式进行。第一种方式称为自花传粉，即两性花（bisexual flower）的雄雌蕊同时成熟，花粉落到同一朵花的柱头。自然界中只有少数植物进行自花传粉，最好的例子是水稻、小麦和芝麻等。第二种方式称为异花传粉，即一朵花的花粉传到另一朵花的柱头上。由于异花传粉使后代的遗传性差异大，因此后代有较高的生长活力和较强的适应能力。各种花卉中，借风力传送花粉的叫风媒花（anemophilous flower），以昆虫为传粉媒介的叫虫媒花（entomophilous flower），通过蜂鸟传粉的是鸟媒花（ornithophilous flower）。此外一些水生植物（aquatic plants）如金鱼藻（*Ceratophyllum demersum*），能借助水力来传粉。大多数有花植物以异花传粉方式作为受精的前提。

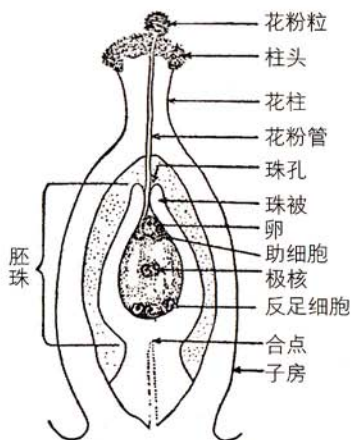
花粉粒落在柱头上之后，开始吸水膨胀。花粉内壁随后从萌发孔向外突出，形成花粉管。

花粉管内富含蛋白质与脂肪，并能分泌酵素将柱头和花柱内的细胞物质溶解吸收。当花粉管继续向子房推进时，管内两个精子也移位至花粉管的末端，紧随着花粉管通过花柱，进入子房，穿越胚珠的珠孔，迈向珠心内的胚囊。由于卵细胞旁

边的两个助细胞含有高浓度的钙离子（calcium ions），花粉管受到钙离子吸引，直驱卵细胞，而助细胞感受花粉管的刺激后，液泡崩裂，质膜破损，方便花粉管与卵细胞接触。花粉管的末端此刻出现一个小孔，将管内两个精子和营养细胞核喷入胚囊，其中一个精子与卵结合，形成雌雄配子融合为一体的合子，发育成胚；另一个精子与位于胚囊中央的两个极核融合，发育成胚乳。源自受精卵的胚为二倍体（ $2n$ ），而源自受精极核的胚乳为三倍体（ $3n$ ）。这种两次受精现象称为双受精（double fertilization），是有花植物独有的生理特征。

## 种子的形成与结构

卵细胞受精之后，合子被包裹在完整的纤维素细胞壁之中。经过一段长短不一的休眠期之后，合子开始进行有丝分裂，形成管状体的一列细胞，称为原胚（pro-embryo）。原胚的顶细胞先进行纵向分裂，接着是多种方向分裂，由四分体阶段进入八分体阶段，随后形成球形的胚体。胚体顶端两侧细胞分化为两片子叶，子叶间又分化出胚芽和胚根。双子叶植物的种子一般遵循着以上的轨迹形成。



● 被子植物子房的结构。

单子叶植物的合子分列数次后形成棒状胚，胚的一侧出现小凹面，此处细胞生长较慢，其他部分生长较快，形成盾片。盾片是一个具有与子叶同源的结构。棒状胚随后分化形成胚芽鞘（coleoptile）、胚芽、胚根鞘（coleorhiza）、胚根以及与盾片相对的外胚叶。

至于受精的极核，能够不需经过休眠而随即分裂，然而包围极核的细胞质却保持原状不分裂，因此在胚囊中分布着大量的游离核。当这些核继续分裂，布满整个胚囊后，细胞壁开始出现，形成由无数胚乳细胞组成的胚乳，胚乳除了贮存养分之外，还能产生多种植物激素。有的植物所形成的胚乳，在种子发育过程中被胚吸收，养分皆贮存于子叶内，因此这类种子只有子叶而没有胚乳，很多双子叶植物都具有这个特点。

总括而言，在胚珠发育成种子的过程中，珠心里的胚囊，与花粉管相遇，精子与卵细胞结合，受精卵形成合子，继续成长即为胚。另一枚精子与胚囊中央的两个极核融合，受精极核继续成长即为胚乳。胚珠的珠被形成种子的种皮，胚珠的珠孔形成种子的种孔，种子成熟时，从珠柄（funicle）或衍座处脱落，在种子上遗留下的痕迹，即为种脐。

一般有花植物的种子内只有一个胚，但是有的物种如柑桔和芒果等，会出现多胚现象（polyembryony），也就是说，一个受精卵能育成两个或更多的胚。产生多胚的因素非常复杂，其中一个原因是由胚囊里的原胚出芽而形成，其他导致多胚现象的原因，包括胚珠中出现多个胚囊，或受精卵（合子）分裂为数个胚。此外，直接由珠心，或胚囊内的助细胞和反足细胞产生的不定胚（adventitious embryo），皆会导致多胚的形成。

## 种子的传播

达尔文 (Charles Darwin) 在19世纪时已观察到：成熟的草莓和樱桃漂亮的外貌，主要是为了引诱鸟兽前来，将果实食用，并使成熟的种子能够四处散播。未成熟的果实通常味道苦涩，颜色与叶子一样青翠，因此以绿色作为掩饰，能减低种子于完全发育之前就让鸟兽吃掉的机率。食果的鸟类是植物种子的主要散播者。鸟类借着对颜色的辨识能力来寻找成熟的果实，所以，一般最受鸟类喜爱的果实，都有鲜明耀眼的色泽。对于凭借嗅觉觅食的动物，果实的颜色反而不及浓郁的果香重要。在夜间活动的果蝠 (fruit bat)，就是以气味作为选择果实的标准。有些动物如松鼠，有贮藏食物的习性，常将坚果或种子埋在土里。未被食用的种子在土中萌芽生长，因此散布的范围很广。

一些植物的果实和种子有芒、倒钩刺或粘液，能附于动物的皮毛上，随着动物到处活动而散播四方。具刺毛的苍耳 (*Xanthium*，俗称cocklebur) 和能分泌粘液的黄细心 (*Boerhavia*) 就是很好的例子。

适应风力传播的种子或果实，常伸展薄翅，如枫树；或生有冠毛，如菊科 (*Compositae*，又称*Asteraceae*) 的子实，可借风力来实现长距离的传播。

有些水生植物的种子或果实，能借助水力来传送，水田中许多水生杂草，如鸭舌草 (*Monochoria vaginalis*)、野慈姑 (*Sagittaria guayanensis*) 和凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*) 等，种子质地轻，可随水漂流。椰子能在水上漂浮，内果皮坚硬，可抵御海水浸蚀。果内的椰水是液体胚乳，能使椰子的种

胚在热带海边的咸水环境下萌芽生长。

此外，一些裂果成熟时，能以自身开裂所产生的机械力量，将种子从果实弹射出来，凤仙花（*Impatiens balsamina*）就是以这种方式传播。

农田里有些杂草种子，外形与作物的种子相似，不易将两者分开，因此常混杂在作物的种子内由农民散播，造成广泛危害。杂草也常借交通工具和农业机械，例如拖拉机和收割机而传往别处的农田。

## 种子的生命力

种子坚固的种皮，能保护胚在恶劣气候与环境中共存。种子的寿命和子叶或胚乳内养分的贮藏量，以及种子贮藏的方法与条件有关。在高温和多湿的环境中，呼吸作用增强，会消耗贮存于种子内的养料。呼吸作用释放出的热能，在不通风的地方产生高温，也会伤害胚，缩短种子的寿命。反之，外界温度低而干燥，种子的新陈代谢作用放缓，寿命也较长。哈灵顿（Harrington）于1972年提出两个公式来阐释温度、湿度对种子的影响：

- 处于种子含水量5%至14%范围内，种子含水量每降低1%，种子寿命延长一倍。
- 处于贮藏种子的环境里，温度在0至50℃范围内，每降低5℃，种子寿命延长一倍。

高温和高湿度会引发种子内的酶产生变异，造成种皮性

质更改，使蛋白质丧失转变为具活性分子的能力。胚蛋白逐渐凝固，有毒的代谢产物的积累，以及胚细胞核逐渐变性等，都会令种子的生命力衰退。以水稻为例，在室温27℃与相对湿度约80%的环境中，种子含水量14%，其寿命约六个月至一年。若种子含水量5%至12%，库温介于1℃至10℃，相对湿度30%至70%，种子藏于金属罐或铝箔袋，每袋保存100至200克为标准，寿命可达二十五年。

很多草本植物的种子能存活数十年。马齿苋种子埋藏于土壤中，能保持发芽力达四十年之久。稗草子实通过牲畜的消化道（alimentary canal）排出之后，仍然可以萌芽。荨麻（*Urtica*）的种子通过鸟类的消化道，反而比没有通过的发芽得更整齐。繁缕（*Stellaria*）的种子在3℃的低温环境中仍能萌芽。有些种子完全成熟和干燥时，能承受零下80℃的低温。

土壤中盐分过多，大量盐离子进入植物体，能毒害细胞的原生质，令植物凋萎。然而在海滩生长的红树，却能以独特的繁殖方式，使果实成熟后仍然留在母树上。种子中的胚，在挂于树上的果实内萌芽，长出棒状的胚轴（embryonal axis，即胚的主轴，包括茎和胚根），露出果实之外，下端粗壮，末端尖锐，坠落时能够垂直地插入海滩松软的淤泥，迅速抽长出侧根来支持与巩固自己，不断吸收养分滋生成长。红树这种衍萌植物（viviparous plant），种子中的含盐量相对较低，因此种子必须在母树上发芽，从母体上吸取盐分。当这些在母体上发芽的幼苗积累了足够的盐分，以适应外在环境时，落入海滩的种子由于具备了从盐碱土壤吸收水分的能力，所以能在盐分高的环境中不畏海水浸渍，根深叶茂地生长。

## 种子的休眠与萌发

有些植物的种子成熟后，即使在适宜的环境条件下，仍然不立即萌芽，这种发育成长过程中的暂停现象和静止状态称为休眠。种子休眠有利于物种的生存和繁衍，具有存活策略价值。休眠的原因主要是种皮过厚，不易通气透水，胚难突破坚硬的种皮，因而限制种子萌发。有些种子内部产生抑制萌芽的物质，如氨、氢氰酸（hydrocyanic acid）、有机酸和生物碱。这些物质消除后，种子始能萌芽。

种子萌发的首要条件，是必须吸收足够的水分，使种皮膨胀软化，氧气易入，呼吸增强，活化各种酶来加速贮藏物质的水解作用，为胚细胞进行分裂和伸长提供养分和能量。一般蛋白质含量高的种子，其吸水量也较大。例如大豆的种子萌芽时的吸水量，等于种子干重的120%、小麦为60%、蛋白质相对低的水稻为40%。

大多数种子需要含氧量10%以上的空气来进行正常萌芽。氧气不足，种子只能进行无氧呼吸，结果因为酒精积累过多，使种子中毒死亡。各种植物萌发时的需氧量不同，豆类需大量氧气，而一些水稻品种只需摄取溶解于水里的氧气就能萌芽。

种子内各种酶的催化作用，只能在一定的温度范围内进行，因此，掌握种子的最适温度对作物的播种和栽培非常重要。水稻萌芽的最适宜温度介于30℃至35℃，最低温度是10℃，而最高温度为45℃。

20世纪60年代开始推展的绿色革命，是一场以种子、水利和肥料为重心的科技革命。墨西哥推广高产小麦，提高生产水平。马来西亚引进矮秆、抗倒伏、生长期短，穗大粒多的高产

稻种，成功将收获从每公顷年产仅3吨左右，腾升至每年每公顷10吨的水平。

人类从长期的观察与实践中，深切了解种子对粮食生产的重要性。农谚中有一句睿语：“一粒好种，千颗好粮”。随着全球人口增长，耕地减少，对提高作物单位面积产量与改进品质的要求也日益迫切。通过育种技术，充分发掘和利用作物种子内的有利基因创造新的种质（germplasm），扩大遗传资源的利用范围，将为21世纪的粮食生产呈现崭新的面貌。



## 植物的化学武器

植物群落 (plant community) 常常受到环境因素的影响与物种之间的竞争而产生变异。这种随着时间的推移而出现于群落中的变化过程, 称为生态演替 (ecological succession)。生态演替是所有生态系统的一大特色。

### 植物必须确保生存

荒弃了的耕地, 或烈火摧毁的森林里, 首先茁长出来的植物称为拓荒者。生态环境渐趋稳定之后, 出现的植物也逐渐增加, 并且随着时间的演进而变得越来越复杂。由于剧烈的生存竞争, 群落内部一些物种往往因为无法立足而受到淘汰, 并由另一些竞争力更强的植物取而代之。群落演替继续发展, 最后终止于一种平衡状态, 称为顶极 (climax)。

物竞天择, 适者生存是生态演替的基本规律。能够面对严峻竞争的群体 (亦称族群或种群), 将占有一个较广阔的生态位 (niche) 以确保自己不会在演替过程中受到侵袭而消失。为了排挤在同一个生境中的竞争者, 有些植物凭借快速的生长, 占据了周遭的空间、抑制近邻的伸延; 有些植物以茂盛的叶建构紧密的树冠, 使阳光无法照射到地面, 矮小的植物在浓阴

之下很难扎根繁衍。

在相互竞取阳光、养料和水分的过程中，一些植物能够在细胞内产生具有毒性或压抑作用的化学物质，然后释放到周围的环境中，减缓近邻的生长，甚至将近邻消灭。这种借着化学方法击退其他植物的防御机制，称为相克作用（allelopathy）。

能产生相克作用的化学物质主要源于植物的新陈代谢。这些化合物通过四个途径进入周围环境：

- 挥发作用：化合物在常温下变成气体向四周散布。
- 漏滤作用：化合物随着溶液在土层中向下流动。
- 腐化作用：植物在土壤中的残留部分，经过微生物分解后释放出化合物。
- 根渗作用：化合物随着植物根部渗出的液体扩散于土壤中。

能够引发相克作用的化学物质大多来自酚（phenol）、类黄酮（flavonoids）和生物碱等。

### 相克植物益第三者

在台湾，研究植物相克作用的科学家发现：绿竹（*Bambusa oldhami*）、佛肚竹（*B. ventricosa*）、台湾桂竹（*Phyllostachys makinoi*）的叶片含有酚类化合物，能使山坡上的杂草无法生存。此外，禾本科植物中的芒属（*Miscanthus*，亦称荻属）也含有能产生相克作用的酚。

马来半岛北端常见的豆科植物银合欢（*Leucaena*

*leucocephala*)，一旦密集生长，树干周围的其他植物会较稀疏。银合欢的绿叶与落叶经过化验，证实含有属于酚的植物毒素 (phytotoxins)，例如 gallic、vanillic、caffeic 和 ferulic acids。一些经常出现于耕地的杂草如胜红蓟 (*Ageratum conyzoides*)，明显受到银合欢的抑制，无法茁壮蔓延。银合欢的叶片内含有5%左右的含羞草碱 (Mimosine)，当含羞草碱在液体中的浓度达到百万分之二十 (20ppm) 时，能显著地抑制水稻和葛苣的种子萌芽。

能引发相克作用的物质，对不同植物所造成的影响具有很大的差异。例如台湾南部沿海一带常见的牡荆 (*Vitex negundo*)，能抑制马唐 (*Digitaria decumbens* 和 *D. ciliaris*)，然而却会刺激须芒草 (*Andropogon nodosus*) 蓬勃生长。

植物学家发现：相克作用化合物如生物碱在植物中的含量，会随着植物在缺氮和缺磷的土壤中生长而逐渐增加。这种现象显示：在拥挤的生存空间里，由于可供利用的营养物质有限，植物为了抑制近邻的竞争，唯有暗地里制造化学武器以斥退劲敌。

植物所释放出来的相克作用化合物，一般作用于其他植物的根部组织，破坏根部细胞，使其无法正常吸收水份和营养。

## 谷物丧失抗草能力

除了许多杂草能产生相克作用化合物之外，植物学家也发现：有些作物如黑麦 (*Secale cereale*，俗称 rye，亦称裸麦)、小麦、燕麦 (*Avena sativa*，俗称 oat) 和向日葵都能分泌化学物

质来抑制杂草的生长。

有鉴于此，科学家曾作出推论：许多作物的野生祖先，曾经在驯化之前具备强劲的相克能力。然而经过育种过程的不断杂交与筛选，高产优质的品种逐渐失去了原有的抗草特性，而必须依赖人工除草才有能力在田里茂长。

育种学家认为，通过鉴定栽培稻相克作用的能力，可以培育出能以自身相克化学物质来减少杂草侵害的品种，从而免除稻农对除草剂的过度依赖。

除了具备相克作用的物质之外，植物为了抵御来自动物的侵犯，也产生独特的化学防御系统，令前来采食的昆虫、鸟类和哺乳动物知难而退。

植物对动物的化学防御机制可以大略分为以下数类：

- 通过嚼食过程中毒：例如生长在土层外并且外皮变绿的马铃薯块茎，内含茄碱（solanine，亦称龙葵碱），能造成食用者窒息而死。
- 通过接触过程中毒：来自烟草（*Nicotiana tabacum*）的烟碱（Nicotine，亦称尼古丁）、鱼藤属（*Derris spp.*，亦称jewelvine）的鱼藤酮（rotenone），以及来自茼蒿属（*Chrysanthemum spp.*）叶子和花朵中的除虫菊（pyrethrums）都是很好的例子。
- 通过植物引发的光敏作用（photosensitization）中毒：有些植物如无花果和欧芹（*Petroselinum parsley*，亦称荷兰芹），内含酚类的化学物质，进入体内之后转移至皮肤，并且在光照之下引起疹子。一些昆虫误食这类含酚的植物之后，接触到光就会产生反应，然后痉挛而亡。
- 通过植物利用空气传播过敏物质而中毒：有的树木如桉叶桉

(*Acer negundo*) 和杨树 (*Populus spp.*, poplar), 体内含有一种树脂及水溶性抗原 (water soluble antigen), 能引发干草热 (hay fever) 以及其他呼吸系统的毛病。

## 汲取矿物元素毒素

这些植物毒素中, 以生物碱、多肽 (polypeptides)、胺类 (amines)、糖苷 (glycosides)、草酸盐 (oxalate)、树脂和毒蛋白 (toxic albumin) 为主。

植物也能从土壤中汲取矿物元素如铜 (copper)、铅 (lead)、锰 (manganese)、镉 (cadmium)、氟 (fluorine) 和硒 (selenium), 将其积聚于细胞内。牲畜嚼食这些植物的叶片时, 可能引致中毒现象, 银合欢所引发的硒中毒就是一个典型的例子。

农民在远古的年代里已观察到, 有的植物会产生特殊的化学物质, 能够有效地阻吓到来采食的昆虫。例如印度的农民很早就发现, 亚洲苦楝树 (*Azadirachta indica*, 俗称Neem tree, 马来文称为pokok mambu) 的种子可以用来提炼灭虫剂与驱虫剂。在引介现代农耕技术之前, 印度农民已广泛地利用苦楝来抗虫。

远在1959年, 德国昆虫学家于非洲的苏丹进行田野调查时发现: 大群沙漠蝗虫 (desert locust) 从天而降, 密聚于苦楝树的枝桠上, 然而这些害虫随即迁移到其他植物的叶丛中嚼食。当其他植物被蝗虫侵袭至完全光秃之后, 苦楝树的叶子依然完好无损。这种现象重复出现多次, 引起科学家对苦楝防御

害虫的奥秘，产生浓厚的兴趣。经过化学分析，科学家终于寻获一种具有阻食作用的苦楝素（azadirachtin）。美国的研究显示，以乙醇从种子中提取0.5%苦楝素的乳剂，能使黄瓜甲虫（stripped cucumber beetle）完全停止进食。由于苦楝的叶片和种子具有阻食与驱虫的特质，从事有机农耕的农民常以苦楝来抗虫。

## 植物也能防范病毒

苦楝的果实对家禽和猪有毒，误食能导致肠胃发炎，牛只心脏积血和肺积水。人类的中毒征状包括呕吐、腹痛、四肢麻木、抽搐。过量服食会引致死亡。苦楝的毒性因种植地区不同而改变，也因人而异。

面对微生物如真菌、细菌与病毒的感染，植物自设了数道防线。例如表皮细胞外胞壁上就有一层腊质状的脂肪物质，称为角质层。角质层是防止微生物进入植物组织的屏障，能减缓病原体的入侵。

植物体内一些化学物质，如松烯（terpene）和酚也具有灭真菌（fungicidal）和灭细菌（bactericidal）的特性。例如洋葱外层的鳞苞（scale leaf）内，这类化学物质能令一些菌类的孢子停止萌芽。

植物也会在受到病原体感染的组织周围，使细胞自动坏死，从而切断营养素的供应。这种局部细胞死亡，能有效地限制和抵挡真菌与细菌扩散蔓延。稻瘟病（rice blast，马来文称为Penyakit Karah）就是一个很好的例子。许多能抗病的水稻品

种在菌丝侵入细胞的初期，迅速引发过敏反应，使受到感染的水稻细胞坏死。这些坏死的稻株组织，形成抗稻瘟菌丝扩展的主要屏障，表现于稻株的特征是叶片上的褐色小斑停止扩大，小斑附近的细胞因不受感染而能够继续正常生长。

科学家深入探索植物防御疾病感染的机制时赫然发现：当病原体到来侵犯时，双子叶植物会释出讯号分子激活整株植物的防御系统，严阵以待强敌的入侵。这种自然的生理现象，称为整体激化抗衡（Systemic Activated Resistance，或简称 SAR）。水杨酸（salicylic acid）是整体激化抗衡系统中重要的讯号分子。水杨酸是止痛剂阿斯匹灵（aspirin）的主要成分。当病菌进入植物时，水杨酸能刺激植物，使其产生与发病机理相关的蛋白。这些蛋白积聚于细胞之间，并且能够在病菌侵入细胞时，分解真菌与细菌的细胞壁。具有酶作用的这类蛋白包括  $\beta$ -1, 3 glucanases 和甲壳质酶（chitinases）。

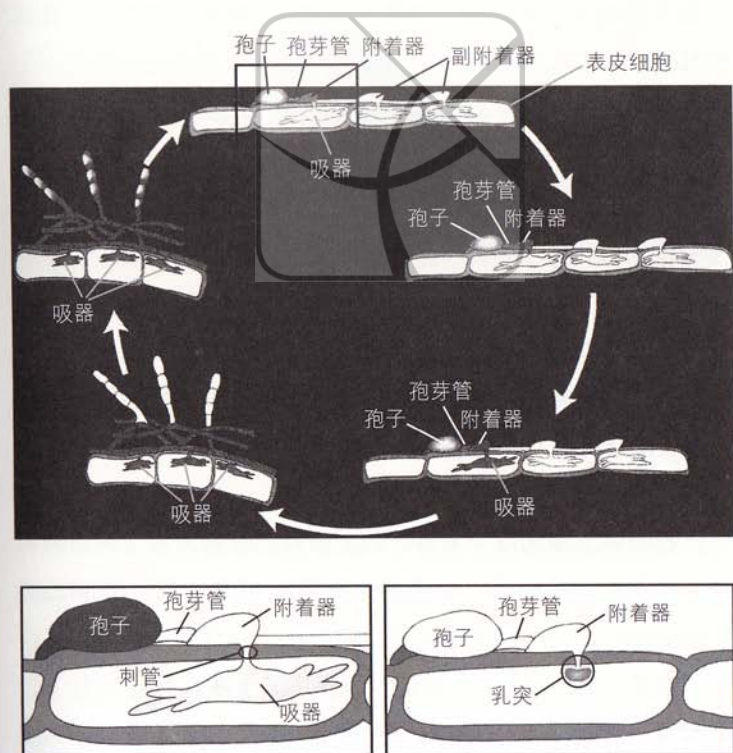
## 植物活化剂扮要角

科学家目前已能合成人造讯号分子，称为植物活化剂。这些植物活化剂所扮演的角色与水杨酸毫无二致，能开启植物整体激化抗衡的防御系统来抗病。经过施用植物活化剂之后，一旦真菌的孢子萌发和形成附着器（appressoria），同时以刺管（penetration tube）穿透角质层与细胞壁进入细胞时，植物活化剂会即刻启动植物的免疫系统，在刺管的末端形成乳突（papilla）。乳突是局部性增厚了的真菌细胞壁。这层厚壁阻碍了真菌发展吸收养分的吸器，结果真菌的孢子因缺乏养分而

死亡。

更有趣的是，当一棵植物受到侵犯时，能将警讯互传，使未受侵染的植物产生防御物质，为即将到来的侵袭作好准备工作。这种预防侵袭的信号，可能以气态在空气中传播，也可能通过根与根的接触传达，或由昆虫将这些化学物质从受侵袭的植物带离，然后将其转移到附近的植物去启动防御机制。

深入了解植物在环境斗争中的自卫法，以及探索植物在化学防御中所产生的化学物质，肯定能为可持续农业（sustainable agriculture）的发展提供更多选择。



● 植物的整体激化抗衡。

## 植物激素的功能与用途

古人饲养家禽时已观察到，阉割对动物的性征影响巨大，若在经过阉割的公鸡体内移植睪丸组织，鸡冠萎缩的现象就能避免。古人种植花果时也注意到，顶芽生长旺盛，下面的侧芽就发育缓慢或处于休眠。若将顶芽摘除，侧芽就能茂长，育成新枝。



### 五大类植物激素

经过长期探索和深入研究，科学家发现，动物和植物都能在体内合成具有调节功能的微量物质，并且会从产生的部位输送到体内其他部分，对整体的生长和发育带来显著的作用。这种能传递化学信息，影响特殊生理过程的有机物质称为激素或荷尔蒙。

植物荷尔蒙的效果繁多，目前公认的植物激素（荷尔蒙）有五大类，即生长素、赤霉素、细胞分裂素、离层酸和乙烯（ethylene）。

#### 生长素（Auxins）

生长素是人类最早发现的植物激素。达尔文在1880年进行

了一项有趣的实验，他发现若将植物幼苗末稍最尾端的部分切除，或在这个小尖端上套上锡箔做的小帽子，遮蔽了阳光的直接照射，这棵幼苗就不会向光弯曲，也就是说幼苗失去了向光性（phototropism）。

1928年，荷兰人温特（Fritz Went）从幼苗末端提取有机物质，加入经过切除末稍的幼苗时，这棵幼苗就能恢复向光弯曲的能力。

1934年，另一位荷兰人柯格尔（Fritz Kogl）从人类的尿液中发现一种有机物质，加到切除末稍的幼苗时，和温特从幼苗末端提取的有机物质一样，能使断头幼苗恢复向光性。这种激素类的物质，其化学结构随后经过鉴定，称为吲哚乙酸（indole-3-acetic acid，简称IAA），是科学家最早发现普遍存在各种植物中的生长素。

生长素合成的主要部位是植物体的幼叶和顶芽，单子叶植物的分生组织，双子叶植物粗壮的茎、根尖、花粉和发育中的果实与种子。

生长素有极性运移的特性，只能从植物体上端向下端输送（basipetal transport），而无法由下向上传导（acropetal transport）。

生长素最重要的功能是促进植物的生长，尤其是细胞的纵向伸长和扩大，包括茎的向光弯曲反应，以及根的向地性反应（geotropism）。生长素能软化细胞壁，增强细胞渗透吸水的功能，令液泡膨胀，细胞也因此而扩张体积。

生长素的其他生理作用包括抑制叶、花和果实的脱落、促进不定根的生长、促进开花和果实发育。

生长素在农业方面的用途广泛，例如：

- 促进切枝生根。把不易生根的植物切枝，然后将基部浸入生长素溶液（50-100ppm）或粉剂（500-5000ppm），能使薄壁细胞恢复分裂机能和加快发根，提升插枝的成活率。
- 阻延离层的形成。幼叶与果实内生长素的含量高，然而当这些器官将要脱落时，生长素因营养供应减少而含量下降。因此若以人工合成的生长素如萘乙酸（naphthalene-acetic acid或简称NAA）喷施果树，可以阻延离层的形成，防止落叶、落花和落果等现象。
- 促进雌花的分化。生长素能改变花的性别。植物花朵的性别会受到数种激素的相互作用，以及日照和温度的影响而改变。各种激素中，生长素的影响最显著。例如将一般发育成雄花的芽切除后培育于IAA的培养基，就能改变性别，形成雌花。黄瓜雌花的分化就是透过生长素来促成。
- 促进单性结实。绝大部分的植物需要受精作用来促使子房发育成果，而生长素是子房膨大发育所需的植物激素。因此若以生长素施用于没有受粉的雌蕊柱头，子房能正常发育成果。由于胚珠没有经过受精，因此果实内没有种子。无子番茄就是以生长素处理培育而成的。

经过多年钻研，科学家合成了各种具有生长素活性的生长调节剂，例如2, 4-D、picolinic acid和dicamba，这些化学物质已成为农民常用的灭草剂。2, 4-D为苯氧乙酸类激素型选择性灭草剂，具内吸传导性，在植株顶端抑制蛋白质合成，使生长点停止生长；传导到下部时，促进根尖膨大，丧失吸收水分和养分的能力，造成秆茎畸形扭曲，最终导致杂草全株枯死。

## 赤霉素 (Gibberellin 或 GA)

赤霉素亦称滥长素或勃激素。日本科学家黑泽 (Eiichi Kurosawa) 于1926年发现: 水稻幼苗受到一种属于子囊类真菌 (ascomycete fungus) 的感染后, 秧苗徒长细瘦, 秆茎上的节会长出往上翘伸的不定根。这种瘦长的稻秆弱不禁风, 极易倒伏。日本人称这种稻苗徒长病为马鹿苗病 (Bakanae, 或笨秧病 foolish seeding disease)。此病的病原菌经过鉴定, 称为赤霉菌 (*Gibberella fujikuroi*), 而由赤霉菌的培养液中分离出来, 能引起植物徒长的物质称为赤霉素。

现在科学家已发现一百种左右的赤霉素, 各种不同的赤霉素分别以 GA<sub>1</sub>、GA<sub>2</sub>、GA<sub>3</sub>……来命名。赤霉素不但存在真菌中, 也同时可以在植物细胞的质体内合成。赤霉素最明显的功能是促进矮种植物长高。

赤霉素在运移方面与生长素不同, 即没有极性, 可以向上和向下作双方向运输。

赤霉素的生理作用包括促进整株植物的延长、促进种子萌芽、提早开花和打破种子和芽的休眠。

赤霉素在农业方面的用途主要是:

- 促进茎部的延长。一些植物因为节间 (internode) 很短, 呈簇生状, 一直进行营养生长 (vegetative growth)。若施用赤霉素, 就会长高并且开花。矮种的日本牵牛花、豌豆、玉蜀黍、水稻和西瓜, 经过赤霉素处理, 会长得和正常品种一样高。
- 促进种子萌芽。许多作物的种子, 如某些品种的莴苣和烟草等, 即使是最适当的环境之下也不萌芽, 这种现象称为休眠。施用赤霉素往往可以打破种子的休眠性, 并且促进胚根

的生长。

- 促进提早开花。许多长日照与低温的植物，可以因外加赤霉素而诱导开花。菊花需低温处理才会开花，原因是在低温处理过程中，菊花植株内的赤霉素含量显著增加。
- 延缓老化。赤霉素能促进淀粉分解成果糖（fructose）和葡萄糖，再经由呼吸作用提供更多能量以促进生长，促进酶的合成，以及抑制叶片的老化。例如，棉花经过赤霉素处理之后，蕾铃脱落现象会减少。

### 细胞分裂素（Cytokinins）

早在1913年，海伯连（Haberlandt）就发现植物受伤时，韧皮部的渗出物会促进细胞分裂，然而若以水冲洗受伤的部位，细胞分裂就停止，而植物的自我修补也因此受到抑制，他称这种物质为愈伤激素（wound hormone）。

科学家后来在椰子汁内发现能促进细胞分裂的物质，试验结果显示，这种物质类似嘌呤（purines）。

1960年代，这类物质从玉米种子中分离出来，取名为细胞分裂素。第一种由植物体内分离出来的细胞分裂素是zeatin，可于椰子汁中获取，而Kinetin是最先由人工合成的细胞分裂素。

细胞分裂素普遍存在于单子叶和双子叶植物之中。正在进行细胞分裂的植物器官，例如根端、茎端，正在成长的果实与正处于萌发过程的种子，其细胞内的细胞分裂素含量都很高。通常细胞分裂素在根端形成之后，沿着木质部由下而上运移至地上的茎、叶、枝和果实等部分，发挥其生理作用和功能。

细胞分裂素在农业方面的用途繁多：

- 与生长素相互配合，能促进细胞分裂和延缓老化。一般叶子衰老变黄，是因为蛋白质分解与叶绿素受到破坏。细胞分裂素能令蛋白质稳定和维持叶绿体的结构，因此正确使用能防止贮藏中的绿色蔬菜黄化，延长其贮存的时间。此外，细胞分裂素也能防止果树生理落果。
- 促进营养物质往贮藏的部份运移，增强果实生长和着果，使番薯和木薯的块茎快速增长。
- 诱导愈合组织，加速伤口复元。

细胞分裂素其他功能包括促进侧芽生长。由于顶端优势被解除，腋芽（axillary buds）能够育成枝条，干茎也能向横扩展。细胞分裂素也能促进种子萌芽，并且能抑制侧根和不定根之形成。

### 离层酸 (Abscisic Acid)

美国科学家阿迪格特 (Addicott) 与其他研究员于1964年从棉花果实中提取一种能使果实脱落的激素，于是以脱落素II (Abscissin II) 为这种化学物质命名。

英国科学家威尔宁也在当年的研究中，由枫叶分离出一种能令植物的芽休眠的激素，因此称之为休眠素 (dormin)。

后来科学分析证明：这两种物质的化学结构毫无二致，因此于1968年将以上两种激素统称为离层酸。

离层酸亦称脱落酸，简称ABA。这种激素所扮演的角色和生长素、赤霉素和细胞分裂素恰恰相反。离层酸抑制核糖核酸与蛋白质的合成，促使保卫细胞丧失紧张度，进而关闭气孔，刺激离层的产生，结果植物在缺水的情况之下，叶子由绿变黄，叶片、花朵和果实纷纷坠落。

离层酸能减少分生组织的有丝分裂，促使侧芽进入休眠状态与抑制种子萌发。

离层酸普遍分布于高等植物的体内。由离层酸作用下形成的离层，能帮助植物在干旱或寒冷的季节里减少蒸腾，保持植物体内的水分。不过，离层产生于花柄或果柄上，造成落花与落果，使农民蒙受损失。为了减少生产上的损失，可以施用生长素和赤霉素来减缓离层的形成。

### 乙烯 (Ethylene)

农民很久以前已经注意到，将番茄或香蕉置于加盖的容器里，能令果子增快速度成熟。

20世纪初期，科学家发现乙烯具有催熟果实的功能。他们随后也观察到，利用电石 (calcium carbide,  $\text{CaC}_2$ ) 加水产生的乙炔 (acetylene)，作用与乙烯相似。

1960年后，气相色谱法 (gas chromatography) 的使用，证实了乙烯是以气体形态存在植物体内的一种激素。

乙烯在植物组织中的含量不高，然而只要微量 (千万分之一或0.1ppm) 的乙烯就足以发挥其生理功能，加速呼吸作用，促进果实成熟，因此亦称为催熟荷尔蒙 (ripening hormone)。乙烯除了能使水果快速成熟之外，也能改变果实颜色、硬度，增加果糖含量，使果实由涩变甜。

乙烯能促进老叶枯萎凋落。一般相信这种生理现象，是因为乙烯破坏生长素而形成。在果园里喷施乙烯，能使果树之间的通风透光情况改善，减少叶片受到植病感染。

乙烯能抑制根和茎的伸长，造成组织的横向扩展，令根、茎变得粗壮。

乙烯在农业上的用途很广。橡胶树经过乙烯处理，能使胶汁上升。此外，乙烯能促进黄梨开花结果，以及瓜类雌花的形成。农民使用乙烯时，通常以液态释放剂ethrel施用于植物体的外表，任其在自然环境中分解，释出乙烯后由植物直接吸收。

### 单独运作相互作用

植物激素能够单独运作，同时又能相互作用。例如乙烯合成与离层有关的酶，而离层酸随后加速组织的衰老。谷类种子萌发时，胚于吸水之后，释放赤霉素。足够的赤霉素运移至糊粉层（aleurone layer），促使酶的形成，将胚乳内的淀粉转化为糖，并且将蛋白质分解，释出色氨酸（tryptophan）。这种氨基酸运输至胚芽鞘，化合为生长素IAA。生长素使种子的细胞壁弱化，让更多水分进入种子，加速新陈代谢作用，促进种子的萌芽和苗长。

## 亦敌亦友的微生物

根据希腊神话：开天辟地的任务刚完成时，大地上只有男人，没有女人。天神宙斯（Zeus）知悉普罗米修斯（Prometheus）盗取火种带到人间去，感到非常不满，并且大发雷霆。宙斯为了将烦恼和困惑遍布人间，于是创造了世界上第一个女人潘杜拉（Pandora），并将她许配给普罗米修斯的弟弟埃比米修斯（Epimetheus）。潘杜拉出现时，众神纷纷为她带来贺礼，这些礼物中包括美貌、魅力与献媚术等。宙斯赠送的礼物与众不同，是一个神秘的箱匣，并且一再叮嘱，不可以将紧锁的匣子打开。潘杜拉天性好奇，千方百计设法将匣子偷偷开启。就在打开匣子的那一瞬间，无数小怪物猛然从匣内飞扑而出，这些怪物包括疾病、忌妒、怨愤、仇恨、诅咒。从那一刻开始，人间的欢乐逐渐消逝，取而代之的是无穷无尽的悲苦与哀愁。幸亏匣子里还有一样东西留下来，那就是希望（Hope）。

### 展现一个微观世界

从潘杜拉的匣子里窜逃出来的怪物中，很多都是肉眼看不见的精灵。这些生物体必须等到荷兰科学家李文胡克

(Leeuwenhoek) 于1673年自制了显微镜之后，才逐一现形。

显微镜的发明，虽然展现了千姿百态的微观世界，然而并没有完全破除人们对微生物的误解。当时的科学工作者对自然发生论 (Theory of Spontaneous Generation) 深信不疑，他们认为微生物是从无机物质和没有生命的环境中自然成长的。19世纪法国科学家巴斯德 (Louis Pasteur) 通过一系列实验证明：封闭瓶中的热肉汤内并无微生物滋生，才真正否定了自然发生理论，而人类对微生物的认识也从此彻底改观。

与人类的农耕活动关系密切的微生物，主要分为三类，即细菌、真菌和病毒。

### 细菌 (Bacteria)

根据五界生物分类法，核物质没有包裹在细胞核中的原核生物 (prokaryote)，如细菌和蓝绿藻等，皆属于原核生物界 (Kingdom Monera)。

细菌是单细胞微生物 (unicellular micro-organism)，它的最外层是细胞壁，功能与植物的细胞壁一样，能维持细胞外形，同时保护细菌免遭不良环境因素的影响。

有的细菌在细胞壁外围还有一层由多糖组成的荚膜 (capsule)，荚膜粘性强，可抵御抗体 (antibody) 和白血球的吞噬。有些细菌具有鞭毛 (flagellum)。鞭毛含蛋白质，其基部位于细胞质内，鞭毛穿越细胞壁向外延伸，长度等于菌体的几倍，甚至几十倍，是细菌滑移运动的工具。

细菌的细胞质浓稠而透明，内含水分、肝糖 (glycogen)、脂类与蛋白质。细菌没有核仁和核膜，裸露的脱氧核糖核酸环状分子，散布于胶体状的细胞质中。有些细菌的

细胞质内还有一小段游离的环状脱氧核糖核酸，称为质粒（plasmid）。天然的质粒带有多个基因，其中最重要的是能与抗生素起抗衡作用的基因。质粒是不需依赖细菌染色体而能自行复制的脱氧核糖核酸。经过遗传工程改造（genetic modification）的质粒，是携带重组脱氧核糖核酸的重要载体。

异养细菌（heterotrophic bacteria）体内不含线粒体和叶绿体，不能利用无机物制造有机物，因此必须从体外的有机物中获取养分。然而自养细菌（autotrophic bacteria）则能以日光与化学氧化作用为能量来源。

基于外部的形态，细菌可以分为球菌（coccus）、杆菌（bacillus）和螺旋菌（spirillum）三类。

- 球菌：球菌呈圆球形，一般菌体直径介于1微米（micron）左右。1微米等于千分之一毫米，或等于百万分之一米。球菌在进行细胞分裂之后，排列在一起，形成菌落（colony）。在实验室的培养剂上，不同的菌落会以特定的形状和颜色出现，可用肉眼观察分辨。菌体成双排列，称为双球菌（diplococcus）；四个菌体互叠成方形，称为四联菌（tetracoccus）；菌体相互连接呈链状，称为链球菌（streptococcus）；菌体无秩序地聚集成团，呈不规则的葡萄状，称为葡萄球菌（staphylococcus）。
- 杆菌：菌体的长度大于横径的称为杆菌，一般长度介于1至5微米，最长可达10微米左右，宽约0.2至2微米。有的杆菌生有分枝，如结核杆菌；有的杆菌有鞭毛，例如引发水稻白叶枯病（bacterial leaf blight，简称BLB）的黄单胞菌（*Xanthomonas oryzae*），就具有单根极鞭毛（monotrichous polar flagellum）。杆菌能相连成链状，亦能单独存在。

- 螺旋菌：菌体弯弯曲曲，长度约100至200微米，具有鞭毛，有时甚至两端皆生有鞭毛。螺旋菌多单独存在，不形成菌落。

有的细菌在形态上与上述三类不同，如梅毒的病原菌属于螺旋体（spirochaete），不具鞭毛。有的菌体略微弯曲，成逗号状，称为弧菌（vibrio），霍乱弧菌就是一个很好的例子。

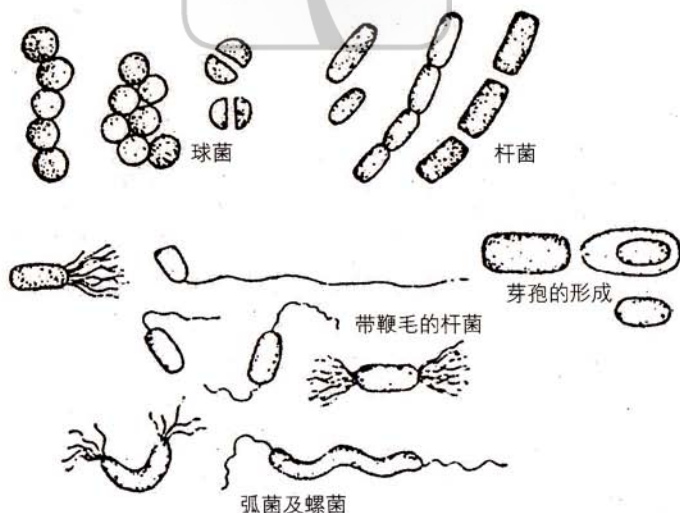
细菌体形微小，必须在光学显微镜下始能识别和区分。在1克土壤中，细菌的数量约二十五亿。由于细菌的分裂繁殖迅速，一般约二十分钟就能分裂一次，有的甚至能每十五分钟分裂一次，因此，科学家估计，一个细菌进入人体内，经过十一个小时繁殖后，如果后代都存活下来，数量可高达八十五亿。当大量细菌消耗了生长环境中的营养素之后，繁衍的速度即缓慢下来。在代谢过程中产生的有机酸，也能阻挠细菌不断递增。

有些细菌在恶劣环境中会形成孢子，例如苏云金芽孢杆菌（*Bacillus thuringiensis*，简称Bt菌），能于细胞内的一端怀着椭圆形孢子。这个孢子由坚硬外层保护，可在干燥的土壤中存活很久。一些细菌的孢子能耐高温，可于120℃左右存活十至十五分钟；有些细菌在摄氏零下低温中仍具有生命力。

许多寄生细菌能破坏寄主的细胞和组织，其代谢物（metabolites）形成毒素，使宿主致病，甚至死亡。细菌感染农作物能引发瘤肿病（bacterial gall）、枯萎病（blight）和软腐病（soft rot）。水稻白叶枯病的病原细菌可潜伏于颖壳或胚乳表面，在种子中存活半年以上。在谷壳中或染病稻草中存活的病菌，可从稻根、茎基和叶片的水孔（hydathode）和伤口侵入，在导管中大量增殖。病征在初期以黄绿色斑点出现，随后

扩展为水渍状短条斑，沿叶缘或中脉（midrib）向下延伸，加宽加大，形成波状长条病斑，初呈黄红色，最后变成灰白色，并由叶端纵卷，全叶枯死。白叶枯病对水稻产量的影响主要表现为秕粒增加和千粒重降低。严重侵染能造成米质变劣，稻秆腐朽，容易倒伏，收成减少20%至50%。

能致病的细菌虽然可怕，然而若从生态学的角度观察，细菌却是生态系统中非常重要的分解者，能在大自然中将繁复的有机物转化为简单的分子供植物、人类与其他动物利用。细菌是生态系统中碳循环与氮循环的重要环节。在人类和动物的消化道中，肠道细菌能帮助食物残渣分解。在反刍动物如牛类的瘤胃（rumen）中，细菌将草和饲料中的纤维素分解成为能吸收的营养素，对宿主的生存不可或缺。在食品工业方面，乳酸菌（lactic acid bacteria）可用于乳酪的制造，而醋酸杆菌（acetobacter）可用于生产醋类等化工原料。



● 细菌的形态。

## 真菌 (Fungi)

属于真菌界 (Kingdom Fungi) 的微生物，是单细胞或多细胞的真核生物 (eukaryote)。真菌与细菌的一个明显差异是：真菌的细胞核有核膜，细胞质中有线粒体。除了酵母菌为单细胞外，绝大部分真菌是由菌丝体 (mycelium) 组成。菌丝体是聚集许多细管状的菌丝 (hyphae) 而成的组织。菌丝的细胞壁含甲壳质 (chitin, 亦称几丁质) 与其他多糖。有些菌丝由隔膜 (septum, 亦称间隔) 分隔成许多细胞，每个细胞含一个或数个细胞核。有些菌丝无隔膜，形成多核菌丝体。

真菌没有根、茎和叶的分化，不含叶绿素，以寄生、腐生或共生方式生存繁衍，进行无性或有性繁殖。

在热带地区，真菌对人体的感染，会导致各种奇痒难耐的皮肤病，例如由癣菌 (Tinea) 引起的香港脚 (Athlete's foot) 与皮肤癣 (ringworm)。

真菌对作物的侵染，也会造成严重的植病，例如霜霉 (Peronospora) 能导致卷心菜霉烂，锈霉 (*Puccinia graminis*) 能侵害小麦与其他谷类作物，引发锈病 (rust)。

1845至1860年间，由蔓延疫霉 (*Phytophthora infestans*) 引发的马铃薯晚疫病 (potato late blight) 在爱尔兰广泛蔓延，使马铃薯严重失收，造成约五十万人因饥谨与尾随而来的伤寒 (typhoid fever) 而死。这场令人丧胆的爱尔兰饥荒 (Irish famine)，导致一百万人离乡背井，向外移民。阴雨霏霏的5月份，爱尔兰西部吹西南风，能将疫霉的孢子吹到英格兰东部，并于7月份侵染那边的马铃薯。

1951年，法国村民吃了黑麦面包之后，患上像中邪的怪病，有些病人最后病入膏肓而死亡。这种称为麦角症

(ergotism) 的怪病在中世纪时常出现于以黑麦为主食的北欧。植物病理学家证实这种怪病是由一种子囊菌纲 (Class Ascomycetes) 的真菌 *Claviceps purpurea* 所导致。这种真菌的孢子随风飘游, 降落黑麦的花穗之后萌芽, 并在黑麦的子房中以密集的菌丝体结合成坚实的菌核 (sclerotia), 称为麦角 (ergot)。麦角内含生物碱, 牛只吃了含麦角的麦秆会流产, 甚至死亡。麦角也是迷幻药 LSD (hallucinogen lysergic acid diethylamide) 的来源之一。

稻瘟病是大部分种植水稻的国家研究与防治的重点对象。这种由真菌 *Pyricularia oryzae* 引起的疾病, 在1637年宋应星的《天工开物》里已有记载。稻瘟病的发生, 一般是山区比平原严重, 粳稻 (japonica) 比籼稻 (indica) 更易受感染。病害的发生和流行, 常随品种分布、地理环境与耕作制度而出现差异。稻瘟蔓延时, 一般稻米减产约20%, 严重时约50%, 局部重病的稻田里, 往往颗粒无收。

腐生的真菌与腐生细菌一样, 能分泌细胞外酶 (extracellular enzymes), 将动植物死亡后的有机体和排泄物分解为简单的小分子, 方便土壤里的营养元素由植物吸收。

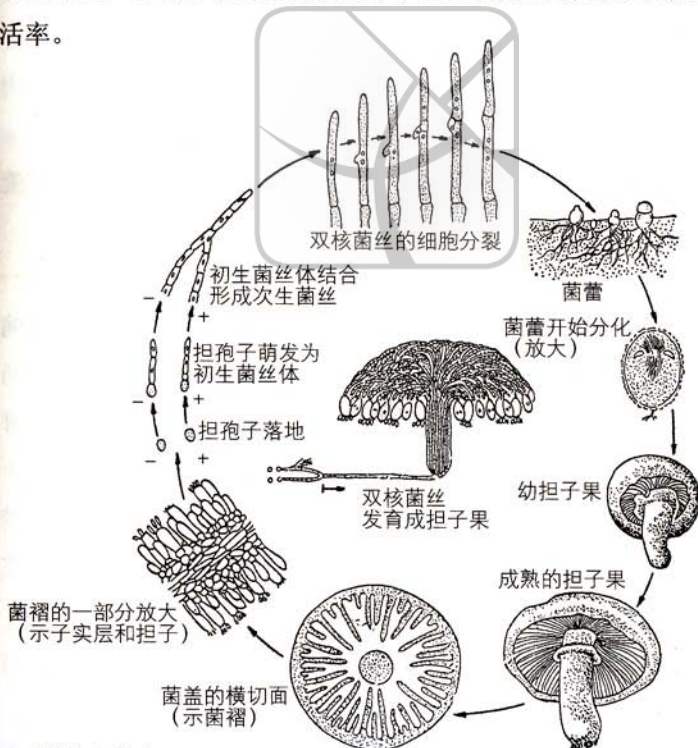
属于担子菌纲 (Class Basidiomycetes) 的蕈类 (mushroom), 如香菇、草菇和蘑菇等, 是营养丰富, 鲜美可口的食品。有的蕈类能抑制癌细胞蔓延, 具有很高的药疗作用。

酵母菌能通过发酵过程将碳水化合物转换成二氧化碳和酒精。米酒、啤酒和葡萄酒等香醇的酒类, 都是由酵母菌酿制而成的。

真菌也可用来炼制各种有机酸、酵素和维生素。一些重要的抗生素是由真菌中提炼出来。盘尼西林 (penicillin) 就

是从点青霉 (*Penicillium notatum*) 和产黄青霉 (*Penicillium chrysogenum*) 中提炼出来的。

由真菌与高等植物的根部结合的菌根 (mycorrhiza)，使植物在共生结合 (symbiotic association) 中获得很多益处。菌丝体包住寄主的根，菌丝并不伸入根细胞里，称为外生 (ectotrophic) 菌根，例子是生于松树的菌根。菌丝深入寄主根部的皮层细胞 (cortex cells of roots)，称为内生 (endotrophic) 菌根，如胡姬的菌根就是很好的例子。在园艺作物的培育方面，丛枝菌根 (arbuscular mycorrhiza) 能促进树苗的生长，降低作物对磷素的需求，提高组织培养苗的移植存活率。



● 蕈的生活史。

## 病毒 (Viruses)

病毒是最小的微生物之一，长度一般只有30至300纳米（1纳米nanometer等于十亿分之一米），只在电子显微镜下现形。

病毒没有细胞的形态与结构，其芯子由脱氧核糖核酸（DNA）或核糖核酸（RNA）构成，包围核酸的蛋白质，形成病毒颗粒（virus particle）的外壳。比病毒更小的类病毒（viroid），只有小分子的核酸，而没有蛋白质外壳。某些感染动物细胞的病毒，在蛋白外壳表面围着一个脂质的薄膜封套。能溶解脂质的乙醚（ether）和三氯甲烷（chloroform）对这类病毒具抑制作用。

病毒的主要特性是：

- 病毒不能在寄主细胞之外复制增殖。病毒只能在寄主细胞内表现生命现象，一旦离开寄主细胞，生命活动即刻中止。
- 病毒缺乏酶系统，因此无法进行新陈代谢作用。病毒没有生长现象。病毒颗粒形成之后，就不会继续长大。
- 病毒没有运动能力，因此必须依靠媒介物传播。植物病毒一般借昆虫吮吸植物汁液时传播。例如褐飞虱能传播草丛矮缩病（grassy stunt）和齿叶矮缩病（ragged stunt）的病毒。动物病毒如流行性感冒（influenza）与非典肺炎（SARS）可借唾液或喷嚏液传播。
- 一般抗生素对病毒无作用。由于病毒感染寄主的细胞后，借助寄主细胞的核酸（脱氧核糖核酸或核糖核酸）和蛋白质重新自动装配新一代的病毒颗粒，从而进行繁殖和侵染活动，因此，只有对脱氧核糖核酸或核糖核酸合成具有干扰作用的药物，才能抑制病毒增殖。

有些病毒在侵入寄主细胞后，可以嵌入寄主的脱氧核糖核

酸之中，成为寄主脱氧核糖核酸分子的一个片段，长期存活于寄主体内数十年。

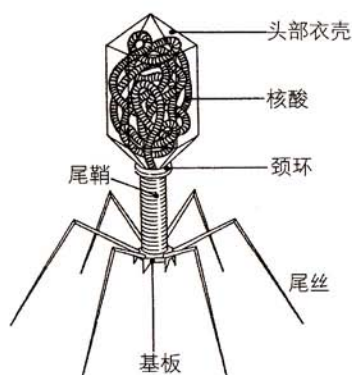
根据病毒的形态，病毒可分为长杆丝形，例如烟草杂斑病毒（tobacco mosaic virus）；小圆球形，例如东格鲁病（tungro virus disease，亦称红

稻病penyakit merah）的球形病毒（rice tungro spherical virus）和噬菌体（bacteriophage）。噬菌体的颗粒可分为头部与尾部，尾部有数根尾丝。

根据病毒侵染的寄主，又可将病毒分为动物病毒、植物病毒和噬菌体（亦称微生物病毒）。植物病毒一般只含核糖核酸，而动物病毒则只含脱氧核糖核酸。

病毒感染对农业构成的威胁，不容忽视。牛的口蹄症（foot and mouth disease）与鸡的禽流感（bird's flu）曾令许多农民蒙受巨大的损失。

在非洲，病毒的侵袭，曾于1998年造成60%的木薯无法收成，令贫穷的农民面对严重的饥馑。撒哈拉沙漠以南的国家，如刚果、加纳、莫山鼻给、乌干达、尼日利亚等，近年来频频受到木薯褐条斑病毒病（cassava brown streak virus disease）的侵袭，每年木薯业蒙受的经济损失超过一亿美元。植物病理学家估计，若不采用生物技术培育抗病的木薯品种，病情将继续恶化。这种根据分类学归入Polyviridae科Ipomovirus属的病毒，感染木薯的根部与块茎，造成干腐坏死症状，使产量锐减。严重病发时，贮存于仓库里的木薯完全损坏，不能食用。

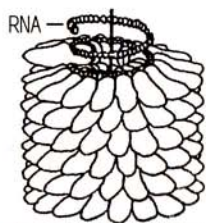


● 噬菌体结构图。

在马来西亚，东格鲁病于1981至1984年在北马的稻产区里广泛蔓延，受到侵染的稻禾全株矮缩，逐渐凋萎，令慕达区的稻农蒙受马币二千五百万元的损失。

病毒引发的疾病虽然可怕，然而若能善加利用，病毒能成为生物防治（biological control）中重要的一环，在某种情况之下甚至具有凌驾化学防治（chemical control）的优点。病毒防治害虫选择性强，一种病毒通常只感染一种害虫，对益虫和人畜无害。有些病毒能随虫卵传到下一代，使刚孵出来的害虫染病而死，达致全面与持久的防治效果。毒性杆状病毒（virulent baculovirus）例如Ar GV对吊丝虫（*Plutella xylostella*，亦称小菜蛾）有致病力，能减少害虫对十字花科蔬菜的破坏。

有的病毒对园艺贡献良多，例如一种侵染郁金香的病毒tulip break virus，能使郁金香的花瓣出现多种瑰丽的花斑，琳琅满目，美不胜收。



● 烟草花叶病毒模型。

## 好微生物有益人类

自然界里虽有千变万化的微生物存在，但不是每种微生物都对人类造成威胁。只要保持个人健康，勿滥用抗生素与化学剂，勿为了私欲破坏生态平衡，同时鼓励科学不断向前发展，深入研究，辨别敌人与良友，那么，人类将能避免超级病菌引发新的灾难，而我们的下一代才有机会在卫生与安全的环境中生活、发展，不必担忧天灾人祸有一天会掠夺潘杜拉的箱匣里，唯一留存下来的希望（Hope）！

## 识别水稻常见病害症状

水稻增产计划一般可遵循两条主要途径来进行：第一，是持续扩大栽培面积；第二，是积极提升单位面积产量。以拓展栽培面积而言，开发新的农耕地，或更改栽培制度，以双季稻取代单季稻是最常采纳的方法。至于提高单位面积产量的措施，除了引介高产品种，改善水利之外，对病害、虫害、鼠害和草害等的防治工作，是不可或缺的环节。为了防治稻病的发生和蔓延，准确诊断病害，鉴定病原和对症下药是最重要的关键。

水稻一旦受到疾病侵染，病征往往会现形于稻叶、茎秆、叶鞘、花穗和颖果之上。若水稻受到真菌侵袭，叶片、叶鞘和稻茎上会出现局部化的病斑。若受主要的细菌病害侵染，病菌从水孔、伤口、伤茎、断根等途径入侵，在稻株体内形成系统侵染而出现禾苗凋萎或叶缘干枯的症状。至于病毒引发的稻病，也因为系统侵染而出现异常的生长，例如植株矮化缩小，时而减少，时而过度分蘖、叶脉浮肿，叶色变白、变黄或变成橙色。

水稻主要病害的症状如下：

### 稻瘟病 (Blast)

发生于秧田和本田稻叶上的梭形病斑最常见，其外部为黄

色晕圈，内环呈深褐色，中央为灰白色。

### 胡麻叶斑病 (Brown Spot)

引发胡麻叶斑病的真菌称为水稻长蠕孢霉菌 (*Helminthosporium oryzae*)，属于 *Cochliobolus miyabeanus* 这种真菌的无性世代 (asexual stage)。

最典型的病斑呈椭圆形，形状大小与芝麻相似。一般均匀地分布于叶面上。病斑呈褐色，完全形成后，中央呈灰色或白色。刚出现时，病斑因受叶脉的限制而形成小圆斑。抗性低的稻种，叶斑较大，可长达10毫米。稻穗受到侵染，颖片（即谷壳）会出现椭圆形的黑褐色病斑。严重发病时，整颗稻谷会变色不实，或在米粒表面出现斑点。

胡麻叶斑病最常发生于土质瘠薄的稻田里。含铁和铝 (aluminium) 元素高的酸性土壤，以及缺钾的水田发病尤其严重。增施有机肥与钾肥能减低病株率。

### 稻窄条斑病 (*Cercospora Leaf Spot*, 亦称 *Narrow Brown Leaf Spot*)

该病是由于稻叶受到稻尾孢真菌 (*Cercospora oryzae*) 感染而引起。受到侵害的叶片上出现狭长病斑，其纵轴与叶脉平行。病斑一般长2至10毫米，宽约1毫米。

在抗病性强的稻作品种上，斑点较短窄，色泽黑褐。然而，在抗性弱而易染病的品种上，病斑比较宽阔，中部呈淡褐色。通常病斑边缘不明显，病斑颜色红褐，逐渐由浓转淡，并与周围健全组织互相混合。

稻窄条斑病一般在苗期 (seedling stage) 发病缓慢，茎秆伸长期 (stem elongation stage) 过后病斑才逐渐显著。叶斑大

量出现，会造成叶片焦枯。钙肥、钾肥和硅肥缺乏时，叶斑比较严重，氮肥过多时，也会减低抗病能力。以有机质肥料作为基肥施用（basal fertilizer application），水稻发病较轻。

### 细菌性条斑病（Bacterial Leaf Streak）

细菌性条斑病的病原菌属于水稻黄单胞菌栖稻致病变种（*Xanthomonas oryzae* pv-*oryzicola*）。这种广布于亚洲热带国家的稻病引起的条斑，最初是青色水渍状条斑，后扩展成黄褐色水渍状，半透明条斑。

天气潮湿时，病斑上有大量蜜黄色细菌分泌物，风干之后呈微珠状广布于条斑上。细菌借风雨之助，传播非常迅速。

易染病的稻作品种，其病斑能令整片稻叶萎黄，并于发病后期造成叶片组织成条枯死，整片稻田呈橙黄色。

### 稻黑肿病（Leaf Smut）

稻黑肿病是由稻叶黑粉菌（*Entyloma oryzae*）侵染的叶部疾病。这种真菌的孢子堆（sorus）形成黑斑生在叶片的两面，斑点分散，呈圆形或椭圆形至短条状，宽0.5至1.5毫米，长0.5至5毫米，由稻叶表皮细胞覆盖着，稍微隆起，色泽铅黑。

稻黑肿病的病斑在一张叶片上可多达千余个，密集时可以互相愈合。病情严重时，叶片从尖端开始枯黄，最后整片稻叶呈黄色，并且破裂。

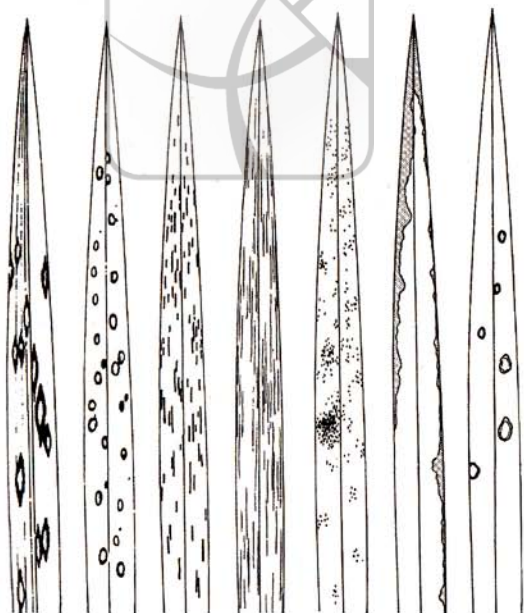
### 稻白叶枯病（Bacterial Leaf Blight）

引发稻白叶枯病的病原菌与细菌性条斑病相似，属于水稻黄单胞菌的水稻致病变种（*Xanthomonas oryzae* pv-*oryzae*）。

病菌从稻叶的水孔、伤口与受损的根部侵入寄主。稻的各生长期皆有可能受到感染，一般病征于抽穗期（heading stage）前后盛发。

发病初期，离叶端数厘米的叶缘产生黄色小斑点，并逐渐扩大成水渍状条斑。

病斑沿叶缘或沿中脉蔓延，和健全组织的分界处呈波纹状。病斑在叶片上继续扩展，逐渐形成黄色或灰白色长条。易染病的稻种，其病叶完全枯槁卷缩。老旧的病斑上常有黑色小点，而新病斑在空气潮湿的早上，常形成乳状不透明露滴，干涸后变成琥珀色的小圆珠。稻叶在风中摇曳时，带菌的小圆珠可轻易脱落坠入田水之中。



● 稻叶感染各种病害后的症状（左起）：稻瘟病、胡麻叶斑病、稻窄条斑病、细菌性条斑病、稻黑肿病、稻白叶枯病、毛孢叶斑病。

### 毛孢叶斑病 (Stackburn Disease)

引起此病的病原菌属真菌毛孢霉菌 (*Trichoconis padwickii*)，有的植物病理学家将其归类为交链孢霉菌 (*Alternaria padwickii*)。

毛孢叶斑病的病原菌能侵害水稻各个部位。叶部病斑初为褐色小点，逐渐扩大成圆形或卵形斑点，边缘深褐色，鲜明地围绕着灰白色的斑点中部，状如圆环。病斑约3至10毫米长，有时内部出现同心褐色环纹。病斑中心常出现小黑点似的菌核。

毛孢霉菌可透过谷壳侵染米粒，引起米粒变色，出现斑点，造成米粒萎缩，畸形易脆。

### 稻纹枯病 (Sheath Blight)

水稻纹枯病是由担子菌 (Basidiomycetes) 引起的真菌性病害。其有性阶段 (perfect stage) 的病原菌称为 *Thanatephorus cucumeris*，而无性阶段 (imperfect stage) 则归于半知菌 (fungi imperfecti) 的丝核菌属 (*Rhizoctonia solani*)。

纹枯病的病斑最初在近水面的叶鞘发生，呈椭圆形，有时几个病斑互相愈合，呈暗绿色水渍状，然后扩大成不规则的云纹状病斑。

病斑一般约10至30毫米长，中部灰白或灰绿色，边缘灰褐色，菌核常形成于病斑之中。天气潮湿时，病害由下向上蔓延到叶片。叶片的症状与叶鞘上的病斑相似。

空气湿度大时，病原菌的白色蛛丝状菌丝体从染病组织中伸展而出，结集成团。菌丝体随后纠结成小颗粒的褐色菌核，容易从病斑脱落，在水面飘移，能长出发芽管，侵染其他稻

株。

在高温高湿和氮肥过多的水田里，病斑多而大，叶鞘严重受损，所有稻叶枯萎，植株易倒伏。

### 叶端云形病 (Leaf Scald)

叶端云形病是由喙孢霉菌 (*Rhynchosporium oryzae*) 感染而引发的叶部病害，通常侵害已成长的叶片顶端，偶尔也会在叶片其他部位出现，呈长圆形或钻石形。云形病的典型症状是叶尖部位出现暗褐与淡灰色相间的同心轮云纹状斑块。

### 稻齿叶矮缩病 (Ragged Stunt)

这种病毒侵害的稻病，由褐飞虱传染。虫媒吸食病株而获毒，然后将病毒传入健康的水稻。染病的稻叶，其叶片与叶鞘的叶脉浮肿，尤其是接近叶颈 (collar) 的部位。

在生长初期，叶缘凹凸成不规则齿状，或出现崩裂与黄化。在生长后期，剑叶短缩、扭曲、畸形和皱裂。

### 水稻干尖线虫病 (White Tip)

水稻干尖线虫病由稻干尖线虫 (*Aphelenchoides besseyi*) 侵染为害所致。一般苗期不表现症状，孕穗后发病的稻株，叶片尖端约5厘米的部位细胞收缩黄化，随后干枯卷缩如纸捻状，受害部位色泽灰白。染病稻株短小，穗小粒少，秕粒多，粒重低，米粒畸形。

除了病原体造成的威胁之外，水稻生理性病害 (physiological disorders) 不仅能令稻作生长发育失常，而且由于病征常

易与传染性病害 (infectious diseases) 混淆, 以致造成误诊而延误防治时机。因此, 认识各种生理性病害的形成与症状, 例如营养元素失调、土壤酸碱度不适宜、灾害性气象 (包括旱涝等天灾)、环境污染以及施肥用药不当引起的生理异常现象, 并且采取相应的栽培方法和管理策略, 将能协助稻农正确处理和克服水稻整个生命周期中不断出现的矛盾, 促使稻作的培育朝着高产、稳产的方向迈进。



② 细菌细胞结构模式图。

## 稻瘟病的综合防治

水稻从种子萌芽到开花结实的一生中，若遭受病原体（pathogens）的侵染而引起生理障碍，稻谷将会因为生育过程出现干扰与破坏而品质变劣，产量下降。

能够侵染水稻的病原生物中，以真菌最为普遍，其他传染性病害则由细菌、病毒和线虫等病原生物造成。这些病原体非肉眼所能细察，因此古代稻农对病害的认识，远不及对虫害的了解深入，有关病害的记录也并不多见。古人常凭借天文现象预测各种农作物的收成，丰收称“昌”，减产称“疾”，也就是说稻作有病。古人在遥远的年代已揣测到气象和其他环境因素与病害之间的密切关系，然而，他们对生态因素所引发的生理性病害与传染性病害之间的差异，却仍然缺乏认知。

### 稻瘟病的最早记载

稻瘟病是稻作史上最早有文献记载的病害。中国明朝末年，宋应星在1637年著的《天工开物》里的“稻灾”部分，提到“炎火”和“焦炎”两种病害现象时，认为这种灾害是因为：“凡早稻种，秋初收藏，当午晒时，烈日火气在内；入仓廩中关闭太急，则其谷粘带暑气。明年田有粪肥，土脉发烧，

东南风助暖，则尽发炎火，大坏苗穗，此一灾也。”简而言之，宋应星认为在烈日下晒谷，来不及让稻谷先冷却就匆匆置于仓库贮藏，造成深蕴于谷粒内的热气无法释放出来，结果于翌年播种时，与来自粪肥和东南风的热气相互作用后，形成令秧苗和稻穗发高烧的稻热病（稻瘟病的俗称）。

宋应星在“稻灾”里也提到：“凡苗吐穉（即抽穗）之后，暮夜鬼火游烧”；接着又说“凡穉叶遇之，立即焦炎”。《中国稻作史》的作者游修龄在分析这段文献记录时，认为鬼火是动物尸体和骨骼中的磷，经过化学变化而形成磷化氢气体，随风飞扬时在空气中自燃。古人因无法解释稻叶与稻穗枯焦的病理现象，又不见白天有火烧，遂误会鬼火（磷光）引发了火烧瘟或稻瘟。

稻瘟在中国之外，曾于18世纪出现于日本文献，以及于19世纪出现于意大利的农业文献中。最先将稻瘟的病原体鉴定为真菌，并于1891年将其命名为梨孢霉属的*Pyricularia oryzae*，是意大利人卡瓦拉（Cavara）。1896年，日本科学家白井（Shirai）对稻瘟病的病原菌作出初步的描述。

稻瘟病广泛分布于全球各主要稻米区里。其病原菌对各种生态环境的适应性令人惊讶。在气温很高与相对湿度很低的环境里，稻瘟病原菌仍然能在对真菌繁衍极为不利的情况之下，感染刚突出水面的茎节。由于受侵染的稻株叶片与其他部分都毫无病征，农民往往因为疏于防范而蒙受损失。这种类型的稻瘟病在伊拉克称为shara disease。

## 发生流行遍及中国

中国农业科学院的文献披露：稻瘟病的发生流行遍及全国，一般是山区重于平原，粳稻重于籼稻。流行年份一般减产10至20%，重的40至50%，局部重病田甚至颗粒无收。自从推广易感病的矮秆品种以来，稻瘟病的暴发流行尤为猖獗。

英联邦霉菌研究所的文献记载：日本于1962年曾发生稻瘟病大流行，受害的稻田总面积高达86万5千公顷。即使经过广泛施用农药，日本于1953至1960年间仍然面对稻瘟威胁，平均每年因稻瘟病造成的损失，等于全国总收成的2.98%。

另一个稻米生产国印度，因为稻瘟病严重的危害，于1960至1961年间损失白米约26万6千吨，并且在农村里引起饥荒。

东南亚方面，菲律宾于1960年代也曾受到稻瘟病侵害，数千公顷水稻发病后引起稻穗普遍不结实，千粒重降低，减产超过50%。

在马来西亚，稻热病在1944年第一次出现于农业文献里。当年许多传统的品种都极易染病。1960年代中期，为了准备进行双季稻种植（double cropping of rice）而培育出来的新品种马苏莉（Mahsuri）和马琳雅（Malinja），由于对稻瘟病完全缺乏抗性，因此在双季稻的水田中染病率非常高。农民无法控制病害蔓延，只好采用抗逆性较强的新品种Bahagia取代。

稻瘟病能侵染稻株的各个部位。在秧田里，病原体能引发苗稻瘟（rice seedling blast）；移栽或直播于大田之后，处于营养生长阶段的稻禾，会因感染而出现叶瘟（foliar blast）、叶枕瘟（sheath pulvinus blast，发病部位包括叶耳auricle、叶舌ligule和叶环）与稻茎节瘟（rice node blast）；稻作开花之后，抗性

弱的稻种会发生穗颈瘟（panicle node blast或neck node blast）和谷粒瘟（spikelet blast）。最常见的是叶瘟和穗颈瘟。

## 叶瘟

病斑初现于稻叶时，一般呈白色、灰色或蓝色水浸状小斑点，多呈圆形。在温湿度适宜的情况下，病斑于抗性弱的稻种叶面上迅速扩展，色泽灰白，一般呈椭圆形，两端具尖头。病斑的正、背两面都密生灰绿色的霉。这些霉中遍布分生孢子（conidiospore，亦称conidia）。病斑亦可能呈不规则形，边缘褐色或褐红色。病斑的形状和颜色，常因环境因素与栽培稻品种对瘟病的易感性而大为差异。病斑也能以褐色小点出现于叶脉间，一般不扩大，这种现象常见于能抗病品种的老叶上。抗性强的稻种，病斑只有针头大小。随着附近的细胞受到侵染、破坏和死亡，病斑在抗性弱的稻种叶面上逐渐扩大，成菱形或纺锤形，一般长1至1.5厘米，宽0.5厘米。后期病斑中心坏死部分变成灰白色，边缘呈红褐色或褐黑色，通常外围中毒部分出现橙黄色晕圈。病斑的形成与稻瘟病原菌所产生的毒素piricularin有关。这种毒素能阻延稻禾的成长。当叶片的组织继续坏死，叶上多数病斑会融合在一起，形成大型条斑，接着叶鞘也开始枯槁，最后整片受感染的稻叶完全干萎，幼苗往往因此而逐渐死亡。

## 穗颈瘟

发病初期，淡褐色水浸状小点会出现于穗颈、穗轴和枝梗之上。病斑随后变成灰黑或褐黑色，并向四周扩大，节部组织受到破坏之后下凹，表面密生着灰绿色霉层。病斑可达3至4厘

米。受感染的稻穗可能全部不结实。病穗直立，很像受到螟虫蛀食稻茎所造成的白穗，只是穗枯以后，颜色枯黄而非白色，并且不容易拔起。另一个容易与螟害区别的特征是：螟虫侵入稻茎之后，皆留下蛀孔，茎内含蛀屑与虫屎，而受稻瘟感染的稻穗颈部，也就是穗下面第一个节上有明显的黑斑。

穗颈之下的其他茎节也会受到感染。若稻茎的节上只有一面受害，茎秆的节部会弯曲；倘若病害严重，病斑在节部形成环状蔓延，叶枕腐朽，茎秆会于节部折断，只由节部隔膜将折断部分连接。这种现象俗称断颈瘟、掐颈瘟、叩头瘟、低头瘟、吊颈瘟或拗颈死等。

水稻受到稻瘟严重感染，会使植株矮化。日本科学家小阪（Kozaka）与寺冈（Teraoka）发现乙稀促使受害稻株变矮。

稻瘟病原体以两种形态出现，即分生孢子和菌丝体。

### 分生孢子

分生孢子呈雪梨形，有时狭长近乎倒棍棒状，顶端尖，基部钝圆，体积一般为 $19-23 \times 7 \times 9$ 微米。绝大多数孢子有两个分隔，很少有一个或三个分隔，呈灰绿色，或无色透明。

### 菌丝体

菌丝体由菌丝组合而成。菌丝的色泽不一，由纯白、乳白至灰黄、粉红，甚至暗灰绿色。细胞内一般只有一个细胞核，核内染色体介于二至十二个。

当空气的相对湿度维持于93%或更高的情况之下，分生孢子始会在叶部病斑上形成。相对湿度降至90%以下时，孢子形成量骤减，若相对湿度低于80%，分生孢子几乎无法形成。一

般孢子在气温介于10至35℃之间都可形成，以25至28℃为最适宜。

分生孢子梗（conidiophore）从叶部病斑的气孔伸出，三至五枝丛生成束，顶部产生孢子五至六个，空气潮湿时可多达十至二十个。分生孢子梗也能穿透病斑表皮单独伸出。孢子体形非常细小，只在显微镜下现形。

孢子成熟后离开分生孢子梗，随风飘扬，降落于稻禾之后，只要获得一点点水分，再配合93%以上的相对湿度，以及10至35℃（最适宜的气温是25℃至28℃），就开始萌芽。芽管的顶端常形成圆形或椭圆形的附属器，附属器能产生侵入菌丝，钻入稻禾的组织继续蔓延。

孢子多在夜间形成与萌芽。由于山区晚间气温较低，露水凝聚也较早，露珠较大，从入夜至翌晨的大气湿度接近饱和状态，气温通常介于22至27℃之间，因此瘟病的侵染一般比平原严重。

日光对孢子形成、萌发及入侵都有抑制作用。

在自然界中，菌丝通常能够存活两年左右，孢子可存活半年以上。在水浸状态下，病菌在三至四个月后死亡。

## 稻瘟病综合防治法

稻瘟病的综合防治，强调以选用抗病能力高的丰产良种为主，同时以科学施肥与水利管理为辅，尽力减少病原菌滋长和发育的机会；然后配合系统化的预测和预报，并且及时施用高效灭菌药剂保护稻作，避免病原菌入侵与蔓延。重要的防治方

法如下：

### 选种抗病

中国科学家闵绍楷和熊振民在《水稻遗传和品种改良》一书中指出：水稻抗稻瘟病的鉴定及筛选是抗病育种的基础。首先，必须搞清本国或本地区稻瘟的病理小种（pathogenic races，亦称生理小种）和鉴定抗病材料。其次，是加强抗性主基因（principal resistance genes）的积累，以育成具有广谱抗性的高产品种。

抗病的机制多种多样，其中一种是抗寄生反应的过敏性，即于病原菌侵入稻作的组织后，受感染部位邻近的细胞迅速枯死，使入侵的瘟病菌原体被稻作的死亡细胞所包围而无从获取营养，菌丝的扩展受到压制无法蔓延。

稻作对一种或数种瘟病的病理小种具有高度专化抗性，而对其他病理小种却因缺乏抵抗力而极易受到感染，这种现象称为垂直抗性（vertical resistance）。垂直抗性由主基因所支配。

水平抗性（horizontal resistance）恰恰相反，对全部稻瘟的病理小种都展现出同等水平的抵抗能力，然而通常只能达致中度抗性而已。水平抗性是由多个基因来支配。

为了对应病理小种通过突变（mutation）而形成的遗传多变性，育种学家竭尽所能将多个抗性主基因结合于一个品种内，以达致广谱性的田间抗性（broad spectrum field resistance）。

马来西亚是控制稻瘟病最成功的国家之一。农业部所推荐的MR系列稻种之中，除了1980年代初期所引介的MR1号、MR71号与MR73号曾受瘟病感染之外，其他品种如MR84号、

MR167号与MR185号都具有很强的抗性。

1998与1999年间，雪兰莪、霹雳与玻璃市州的稻农由台湾引进香稻品种之后，由于香稻对稻瘟的抗性弱，结果出现稻瘟病大流行。农业部即刻加强管制措施，阻止农民继续种植未经检疫的稻种。

2004年杪，农业部刚推介不久的新品种MR219号和MR220号在抽穗之后出现穗颈瘟。田间观察显示以上两个品种早期对稻叶瘟具有抗性，然而后期却易受穗颈瘟侵害。其中的原因可能是新的病理小种因突变而引发稻瘟的暴发。

稻作文献记载：连续多年大面积种植单一品种，会造成抗性消失。原因是以前占优势的稻瘟病理小种并不侵染该稻作品种，然而能侵染该稻作品种的新病理小种却能进行增殖。在单一稻作品种栽培面积小时往往不显著，一旦大面积栽培后，即急剧发病，形成大爆发的可悲局面。初步估计，单单慕达区内已有三千余公顷水稻受到侵染，损失不貲。为了减低2005年的稻作受瘟病侵害，稻农可以在耕作土轮流应用具有不同抗性的品种，例如MR84、MR103、MR106、MR185等，以抵抗流行的病理小种为害。

### 合理施肥和灌溉

多项长期田间实验证实：氮肥过多会诱发病害，而且稻瘟在高氮的情况出现后，磷与钾的施用无法改变现状，纠正氮肥过多的不良影响。若稻农施用速效氮肥（quick acting nitrogenous fertiliser），例如硫酸铵（ammonium sulphate），并且一次大量集中施用，将使稻禾更易罹病，即使在气候并不特别有利于瘟病发生，以及品种并不特别易感染稻瘟的情况

下，仍然会造成病害严重恶化的后果。以多次分施追肥方式取而代之，将减低氮肥的负面效应。

在缺磷的田里，磷肥能减低稻瘟的危害。磷能促进根系发育，提高钾、钙和硅的吸收，帮助稻作增强抗病和抗逆的能力。

日本早期的研究显示：充足的钾能减低稻作受到瘟病的感染，然而，若大量施用氮肥、钾素的用量虽大亦无法保护稻作。钾离子具有促进植物厚壁组织的木质化作用（lignification），使细胞不易受病原菌侵袭。当钾素在植物体内遽降后，作物组织内一些不稳定的低分子量糖分、氨基酸和胺类开始积累，这些物质能为侵害作物的病原菌提供能量和营养，造成病情加剧。

水稻施用硅肥，能使叶、茎和根细胞硅质化，表皮细胞的硅质化最多，从而提升防御病虫害的侵袭，稻瘟的伤害也较轻微。

利用稻草作肥料，耕翻入土内以增加田土中有机肥源的作法，会让稻草上的病原菌有产生孢子的机会，引起侵害和导致苗期发病的风险。最好是避免用染病稻草做堆肥，因为带病稻草上的病菌需经60℃高温发酵十天才能全部死亡。以火焚稻秆来消毒，将病原毁灭，会减少下一个季节的水稻受到瘟病的威胁。

合理灌溉能避免削弱稻作的抗病能力。稻农必须避免长期深灌以及过度缺水，原因是赤道太阳能使田水达到42℃或更高温度，并于夜晚将白天吸纳的热量缓慢释放，延迟露水凝聚。通常在稻丛中，最接近水面的结露期（dew period）最短，而最上端的叶面结露期最长。较短的结露期对孢子的形成与萌芽

不利。科学排灌强调水稻在生长前期以浅水（5至8厘米左右）勤灌，后期湿湿润润到成熟。

### 药剂防治

日本科学家Bokura于1914年发现波尔多液（Bordeaux mixture）能有效控制稻瘟病的蔓延。波尔多液是由硫酸铜（copper sulphate）和生石灰配制而成，喷洒后以微粒状附着于稻作表面和病菌表面，由于粘着性佳，在植物上不易被雨水冲失。波尔多液对孕穗期的水稻易产生药害（phytotoxicity），施用时必须非常谨慎。此外，这种混合剂要现配现用，配好后不能久贮，使用时要不断搅拌，以免浓度不均。

三环唑（tricyclazole）是一种内吸性强的杀菌剂（systemic fungicide），能迅速被水稻的根、茎和叶部吸收，并输送到植物的各个部位。三环唑能有效地抑制孢子萌发，同时也能阻止已萌芽的孢子芽管形成附属器，使菌丝无法侵入。此外，及时施用三环唑能减少稻瘟病菌孢子的产生。

由于三环唑抗冲刷力强，喷药一小时后遇雨，不需补喷药。其他优点包括能够与其他杀菌剂、杀虫剂同时混合使用，不会降低药效。

Isoprothiolane是防治稻瘟病的高效杀菌剂，具强内吸作用，能作双向传导，换言之，稻根吸收的药剂能输送到叶片和穗轴部分，而叶片吸收的药剂也能输导至施药之后才长出来的新叶，发挥全面防病的功效。

Isoprothiolane耐雨水冲刷，持效期长，能与大部分农药混用，对人类和牲畜亦相对安全，同时正确用药很少会对作物造成药害。由于对鱼类以及水生生物有一定影响，因此必须避免

在养鱼水田里施药。Isoprothiolane可于叶瘟刚发生时喷雾，并于水稻刚抽穗时再喷一次药。

抗瘟良药Carbendazim是一种广谱（broad spectrum）与内吸性强的抗菌剂，可经叶片和根部吸收后，在植株内向顶传导，因此能集聚于新叶与穗轴内，发挥防病与治疗作用。

Carbendazim的优点是能阻止孢子萌芽，避免大流行出现。在受到感染的稻株内，这种药剂又能阻止菌丝扩展，以及阻碍孢子的形成。其灭菌机制主要是抑制去氧核糖核酸的合成与干扰病菌细胞的有丝分裂。

Carbendazim对许多子囊菌和半知菌都有效，因此能防治多种作物上的病害。此外，还能于作物开花时施药，因为这种杀菌剂对蜜蜂（*Apis mellifera*）无害。施药时可采用喷雾、浇灌、滴灌或浸种来处理。在病斑未出现前或刚出现后施用，可控制稻瘟蔓延。为防穗颈瘟，可于抽穗刚完成时施药。

蕴藏于大自然中的奥秘，往往会为深入探寻的人带来意外的惊喜，高效的杀菌剂Azoxystrobin的发现就是一个很好的例子。1970年代，一群生物学家从腐生于森林朽木上可供食用的菇蕈中，提炼出数种天然抗菌素。这些具有拮抗作用（antagonism）的天然抗菌素，能协助菇蕈与其他菌类竞争养分时处于优势。经过精密的化学分析，科学家发现两种能控制植物病原真菌的天然化学物质oudemansin A与strobilurin A。根据这些物质研发出的结构类似物（analogues），终于发展成具有高抗真菌活性，优良的作物安全性，低哺乳动物毒性，而且不污染生态环境的杀菌剂azoxystrobin。这种崭新的药剂，主要功能是抑制真菌线粒体的呼吸作用，干扰了电子的传导与能量的交换，使病菌死亡。

Azoxystrobin能快速抑制孢子形成、萌发，以及菌丝的蔓延。由于灭菌作用机制与其他灭菌剂不同，因此与其他药剂如benzimidazoles和phenylamide等不会出现交互抗药性。所谓交互抗药性，是病菌对某一种杀菌剂产生抗药性之后，对从未接触过的其他相类似农药也表现出抗药性现象。为了维持灭菌剂对稻瘟病的防效和疗效，以Azoxystrobin与其他灭菌剂交替施用，能延缓或甚至克服稻瘟病原菌抗药性的产生，加强药剂的防治效果。

Azoxystrobin于一次施用后，在热带疗效长达二至三星期左右，因此于抽穗前施药，可确保稻穗不受瘟病感染。

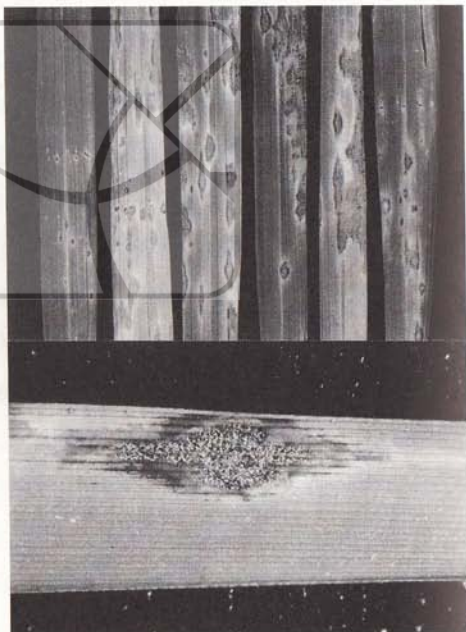
稻作学家多年的观察与研究显示：大面积种植单一品种的水稻，将引起新的病理小种的出现与迅速增殖，并且造成这个稻作品种的抗瘟性下降。为了克服品种丧失抗病性的难题，病理学家采取了三种应对策略，即：一、基因轮转（gene rotation）；二、基因金字塔积叠（gene pyramiding），将多个抗瘟基因结合于单一品种；三、品种混合（cultivar mixtures）。1980年代初期，马来西亚的研究显示：在同一片水田里种植多个不同的稻种，若其中66%的稻株来自抗瘟品种，即足以控制稻瘟。

## 糯稻与杂交稻间种

根据以上的概念，国际水稻研究所（IRRI）与中国科学家于1997至2000年间，在云南省进行了利用基因多样性以达致可持续病害管理的研究。价格高昂但极易感染稻瘟的糯稻，间

种于四至六行具抗瘟特性的杂交稻中，令瘟病的发生率剧降94%。过去，在纯糯稻的水田里，稻瘟的严重破坏往往令稻作蒙受25至40%的损失，然而，在糯稻与杂交稻混合间种的水田里，糯稻产量每公顷增加1.72吨；而杀菌剂的应用，反而从每季施药三次，降至每季一次而已。利用基因多样性来抑制瘟病的发生，不但提高产量，降底菌药的开销，增加农民的收入，同时农民的健康也因为少用化学药剂而获得改善。在2000年，采纳糯稻和杂交稻混合种植的农民，每公顷的收成平均高达11.08吨（其中糯稻2.14吨，杂交稻8.94吨）；而糯稻、杂交稻分别栽植的水田，每公顷只获得9.57吨（平均糯稻0.42吨，杂交稻9.15吨）。

反复实践证明，应用基因多样性对发展广谱抗病能力，提高稻农的收入，以及保持遗传资源的贡献良多。



⊙ 病斑初现于稻叶时，呈白色或灰色水浸状小斑点。后期病斑中心坏死部分变成灰白，边缘呈红褐或褐黑色。下图为叶瘟病的病斑。

## 认识禾本与莎草植物

中国明朝杰出的科学家李时珍，将他收集多年的千余种植物分成草、谷、菜、果和木等五部，编入《本草纲目》这部巨著中。近代科学家依据形态学（morphology）、解剖学（anatomy）、植物化学（plant chemistry）和植物生态学（plant ecology）来建构植物的自然分类系统时，将草（grasses）归入禾本科（Poaceae-Grass Family），而其他草本植物（herbs），则根据这些植物的自然性质和彼此之间在演化上的亲疏关系，划分为不同的科（family）。莎草科（Cyperaceae-Sedge Family）就是一个明显的例子。

草类确实是韧性超强的种子植物。从赤道至极地，从平原湿地到高山峻岭，都能寻获草类的踪迹。植物学家公认：从生态角度视之，禾本植物是最占优势的一群；从经济角度衡量，禾本植物肯定是最重要的一科。

草类遍布世界各地，草原约占全球陆地三分之一的面积。印度大诗人泰戈尔在他的诗集中颂扬绿草：

- 小草呀，你的步子虽小，但你却拥有了你踏过的大地。
- 绿草无愧于它所生长的伟大世界。
- 大地借助绿草来显示自己的热诚与殷勤。

禾本科属于单子叶植物，是一个拥有约七百五十个属（genus），一万多个种的大科。禾本科植物的地上茎呈圆筒

形，少数扁平或方形，特称为秆（culm）。秆有显著的节和节间，节间多中空，少数实心，例如玉蜀黍和甘蔗等。单叶，互生，二列，由叶片和叶鞘组成。叶片与叶鞘连接处常有叶舌和叶耳。叶片狭长，呈带形、线形或披针形，具平行脉。叶鞘常在一边开裂，紧包着秆。

禾本植物的花序以小穗（spikelet）为基本单位。每个小穗有一个短的小穗轴（rachilla），基部有一对颖片。小穗轴上生有一至数朵小花（floret）。花通常细小不明显，两性，偶有单性。花被（perianth）二至三枚，特化为透明肉质的浆片（lodicule，亦称鳞被或小鳞片）。雄蕊常三枚，若两性花则雄蕊数目介于一至六枚。雌蕊的子房上位（ovary superior），只有一室，内有一胚珠，二花柱，柱头常成羽毛状。果实的果皮与种皮密接，称为颖果。种子有丰富胚乳，内含大量淀粉。

禾本科植物与人类的关系密不可分，谷物皆源自禾本植物，是人类不可或缺的粮食。重要的禾本科作物包括水稻、玉蜀黍、小麦、大麦、燕麦、黑麦、高粱和小米。

### 栽培稻

栽培稻是一年生栽培作物。栽培稻共有两个种，即亚洲栽培稻（*Oryza sativa*）和非洲栽培稻（*Oryza glaberrima*）。稻作对环境的适应能力很强，从北纬53度至南纬35度，从海平面等高线到3000米高地，都有稻作蓬勃生长。

栽培稻的叶呈线形，圆锥花序（panicle），小穗有芒，或无芒，内有小花三朵，其中两朵不孕。雄蕊六枚，雌蕊一枚。

亚洲栽培稻在进化过程中，分化为籼稻与粳稻。籼稻品种耐湿、耐热和耐强光，其米质粘性较弱，粒型细长，颖毛短

少，叶片粗糙，叶色淡绿。粳稻品种具有耐旱、耐寒和耐弱光的习性，米质粘性较强，粒型短圆，颖毛长密，叶色深绿。

根据米粒粘性的强弱，栽培稻又可分为糯（glutinous or waxy rice）与粘（non glutinous rice）两大类型。

稻米的粗蛋白（crude protein）含量比各种谷类作物低，糙米的粗蛋白质仅8.5%左右，可利用的蛋白质约6.3%，然而就其品质而言，却又是营养最好的谷物蛋白质。稻米内的氨基酸组成比较均衡，其中重要的必需成分赖氨酸（lysine）含量超越其他谷类，且易为人体消化和吸收。

稻米除作主要粮食外，还可酿酒制醋，米糠可榨油和作为牲畜饲料。稻秆可作草料和造纸，谷壳可做燃料。

## 玉蜀黍

玉蜀黍亦称玉米，其发源地是中美洲。欧洲人发现新大陆之后，将玉蜀黍带回欧洲，随后遍植于世界各个角落的殖民地，成为全球三大粮食作物之一。

玉蜀黍是一年生的草本植物，植株很高，有的品种可达5米。玉蜀黍一般很少分蘖，也不长无性旁枝（lateral vegetative branches）。秆茎实心，并于接近地面的节生出支柱根，进入土壤之内即分化出须根来支持笔直的秆。

玉蜀黍的雄蕊与雌蕊分开，雄蕊于秆顶形成圆锥花序，俗称穗纓（tassel），而雌蕊则从叶腋（leaf axil）抽出圆柱状的密集花序，英国人称雌玉米穗为cob或ear。

雄蕊的小穗成双排列于枝梗上，其中一个小穗无柄（sessile），另一个小穗则具有短梗，除此之外，两者外形无异。每个小穗由两枚颖片包裹着两朵雄性小花。每朵小花有三

枚雄蕊。花丝在成熟期迅速延伸出颖片之外，裸露花药。玉蜀黍的花药有多种颜色，青绿、橙黄、粉红或深紫等较普遍。

雌蕊由多片鞘状苞片紧密披盖，这些苞片俗称玉米外壳（husk）或外皮（shuck）。和雄蕊一样，雌蕊的花序由双双对对的小穗组合而成，然而这些小穗皆无柄，并且整整齐齐地排列于肥硕的穗轴（亦称玉米芯）上。每个小穗有两朵雌花，不过只有一朵能形成圆球旋钮状的子房。包围着子房的是两枚短而宽的膜状颖。花柱很长，伸出重重的苞片外，称为穗丝（silk），末端分为二叉（bifurcated），然而穗丝上每个部分都有柱头的功能，可以接受花粉。种子呈四棱形，紧密排列于玉米芯上。

玉蜀黍的颖果可制玉米片、饲料以及工业原料。虽然玉米是重要粮食作物，其营养成份却不及其他谷类，蛋白质的品质不高，而且还缺乏烟酸（niacin，亦称维生素P）。长期以玉米为主食，可能引发糙皮病（pellagra）。此外，玉米的谷蛋白（gluten，俗称elastic protein，亦称面筋）质量欠佳，不适宜用来烘制面包。

反之，一般人吃玉蜀黍时丢弃的玉米穗丝含有丰富的苹果酸、枸橼酸、酒石酸、维生素K及生育酚醌等，入药能利尿消肿，可治小便不利、肾炎、高血压、肾结石、糖尿病和肝炎等。

## 小麦

小麦可能是最先被人类驯化为粮食作物的草类。九千多年前，古巴比伦人已懂得在幼发拉底河谷（Euphrates valley）培育小麦。这种温带生长的一年或二年生草本，秆茎可达1米，

节间中空，叶片呈披针形。穗状花序（spike）直立，顶生于茎秆之上。小穗有小花三至六朵，无柄。穗状花序由十至二十个小穗组成，小穗尖端通常有芒。两侧扁平，常单生于轴的各节。雄蕊三枚，子房一室。颖果卵形或长椭圆形，腹面有深纵沟。

小麦是温带作物，能在年均雨量介于300至900毫米的地区茂长。根据种植季节，小麦可分为春麦和冬麦两大类。

小麦具有很高的营养成分，蛋白质含量介于11至15%。由于谷蛋白丰富，因此适合用来烘制面包。

在中国北方，最普遍的小麦是 *Triticum aestivum*。除了作为主要粮食之外，小麦入药有养心安神作用。

其他谷类如大麦可做面食，是酿制啤酒和麦芽糖的原料。燕麦可制高营养价值的麦片，高粱能用来酿高粱酒，或可作牲畜饲料。

## 小米

小米来自不同的种和属。由于耐旱能力强，小米适宜种植于土壤贫瘠、雨量偏低的地区，是亚洲和非洲广受栽培的杂粮。在中国北方，属于狗尾草（foxtail millet）的 *Setaria italica* 称为粟，谷粒可供煮小米粥和酿酒。属于狼尾草的 *Pennisetum glaucum*，亦称 pearl millet，是印度重要的粮食作物。黍（*Panicum miliaceum*，亦称 broomcorn millet）的生长期短，播种后六十至八十天即可收割，是东欧常见的小米。穆子（*Eleusine coracana*，亦称为 finger millet、ragi 或 raggee）是南亚和非洲重要的谷类。湖南稷子（*Echinochloa crusgalli var frumentacea*，亦称 Japanese millet），长出的小米颗粒可以磨

粉，作为杂粮。秆茎可制成牛羊食用的干草。

## 茭白

另一种奇特的禾本植物是茭白（*Zizania*）。野生茭白（*Zizania aquatica*）亦称野稻（wild rice），是北美洲印地安人的重要粮食作物。茭白生长于沼泽、湖泊和溪涧之旁，水鸟喜栖息其间。这种野生的草，高度介于1至3米。茭白是两性花同株（Monoecious）的植物，其雌穗的位置与玉蜀黍恰恰相反，着生于茎秆顶端，而雄穗长于同个花序的下方。成熟的谷粒暗褐或深紫色，约10至20毫米长。在中国，多年生的茭白品种称为菰（*Zizania caduciflora*或*Zizania latifolia*），外型与水稻相似，其秆基受到一种黑穗菌（*Ustilago edulis*）寄生后，会逐渐膨大，变成肥嫩的茭笋，是可口的美食。

## 甘蔗是制糖重要原料

甘蔗是巨型多年生的禾本植物，实心秆内富含蔗糖（sucrose），是制糖的重要原料。依据估计，全球约三分之二的白糖供应源自甘蔗，生产地集中于亚洲的热带与亚热带，西印度群岛与澳洲是重要的产糖区。

甘蔗的秆丛生，每个秆节有一个芽，由叶鞘围护。叶片呈长剑型，与玉蜀黍的叶片相似。成熟的甘蔗可高达3至6米，粗壮的圆秆直径介于35至50毫米。秆的表面光滑，不同品种的颜色各异，从纯白、淡黄、青绿、橙红至深紫都有人栽植。

甘蔗的圆锥花序上，两性小穗成对生于穗轴各节，其中

一个有柄，另一个无柄，穗轴易逐节脱落。甘蔗种子的生存性低，因此一般蔗园都以切成短截的蔗秆来进行无性繁殖。

## 竹子全身是宝用途广

竹是与众不同的禾本植物，地下的根状茎与秆都木质化。竹秆上有明显的节，节间中空。秆一般丛生，直立，可高达40米。叶片通常生于分枝上，有明显中脉和柄，易自叶鞘脱落。

竹通常经过多年营养生长之后才会开花。坚生（D. H. Jansen）在〈为什么竹子要等那么久才开花〉一文中报导：竹子的开花周期很少低于十五年，有些甚至会超过一百五十年。以桂竹（*Phyllostachys bambusoides*，俗称timber bamboo）为例，这种竹子每隔一百二十年才开一次花，结一次种子。坚生认为驱动竹子内部生物时钟的东西，一定是某种抗热和对光敏感的化学物质，这些物质经过多年累积后能催花。当竹子开花时，竹叶逐渐褪色而萎黄，生命力也慢慢枯竭。在生命终结之前通过开花、结实以供再度繁衍，是竹的天赋特性。竹子的花与一般禾本科植物的花相同：小穗含一至多朵小花，由浆片、雄蕊、雌蕊构成。雄蕊三至六枚，花丝细长，花药二室；雌蕊有花柱，一至三枚，柱头二或三裂，子房一室，具一胚珠。

竹子的适应范围宽广，从赤道至温带与部分寒带都有竹的踪影，有的箭竹品种在喜马拉雅山3400米高处仍能生长。在竹子与其他树木共同生长的混合林中，当其他树木被砍伐之后，竹子能以其强大的地下根茎向四方蔓延，迅速形成次生竹林。

竹子全身是宝，用途广泛。竹笋味甘鲜脆，是华族传统佳

肴，古人甚至有“无笋不成席”的说法。竹笋是减肥和防止肠癌的健康食品，笋内的纤维素和半纤维素能促进大肠蠕动，令有毒物质尽快排泄出体外，减低对身体的危害。此外，竹笋中的酪氨酸（tyrosine）可抑制癌细胞的扩散。

竹材结构致密，用竹子建造小楼，造价低廉，雅洁美观，竹子的废料经过研碎热压，可制成各种人造板。竹材制的农具、家具及日用品种类繁多，竹材造纸也具有经济效益。

### 莎草不具重要经济价值

莎草科与禾本科一样，广布于全球各大洲的高山、平原与谷地。属于这个科的单子叶植物，经过分类，被归纳为九十六属，共九千余种。由于莎草与禾本科的草类在外形上相似，因此了解两者之间的差异肯定对深入的生态研究有重大裨益。

莎草的形态特征如下：

- 茎秆呈三棱柱形，其横切面为三角形。禾本植物的茎秆以圆柱或圆筒形为主，横切面为圆形或椭圆形。
- 秆茎实心，只有少数中空。禾本植物的节间多数中空，只有少数的草类是实心。
- 叶鞘紧包着秆，两边互相愈合。禾本植物的叶鞘开裂，不粘联愈合。
- 花小，单生于一枚颖片的腋内，由二至数朵小花组成的小穗不受颖片（苞片）包裹。反之，禾本植物的小花由两枚苞片包裹，而由小花组成的小穗再由两片苞片包裹。
- 花被缺或退化为刚毛（setae）。禾本植物的花被特化为浆

片。

- 叶片三列基生，第四叶常列于第一叶之上。禾本植物的叶片是二列互生。
- 果实多为坚果或瘦果，呈三棱形和双凸状。禾本科植物的果实是颖果。

莎草科植物一般不具有重要的经济价值，也不是人类粮食的主要来源，只有少数莎草，如荸荠 (*Eleocharis dulcis*) 的块茎可供食用。荸荠的秆丛生，只有基部叶鞘而无叶片。小穗一枚，顶生秆上。地下根状茎细长，顶端膨大成块茎，内含淀粉与糖分，清凉爽口。

另一种与人类关系密切的莎草是 *Cyperus*

*papyrus*，古埃及人曾将莎草秆内的髓取出，制造纸张。目前，这类莎草已成为观赏植物。

其他的莎草，如藨草属 (*Scirpus*)、苔草属 (*Carex*) 和蒲草属 (*Lepironia*) 等，茎秆的纤维可用来编织草席、草帽或编袋，为小型农村手工艺的生产提供材料。

许多禾本科与莎草科植物是农田里危害严重的杂草。这些



● 莎草科杂草。

杂草除了降低作物产量和土地利用率之外，还因为可以窝藏害虫和病原菌而增加防治费用，影响灌溉和排水系统，引发过敏症和中毒，降低农民劳动的效率。

杂草的危害虽大，然而若善加利用，一些杂草也能为人类带来意想不到的好处。例如在园丘里不断麻烦种植者的多年生禾本科植物白茅（*Imperata cylindrica*，俗称lalang或cogongrass，茅草、茅根），其地下横走的白色根茎，含有果糖、葡萄糖、苹果酸和钾盐，能入药，主治泌尿系统的感染、肺热咳嗽和高血压病等。此外，令许多菜农、果农头痛的莎草科植物香附子（*Cyperus rotundus*），以地下块茎繁殖，是旱田里极难防治的多年生杂草。香附子的匍匐根茎上能长出许多圆形的黑褐色块茎，可从中提取富含香附酮和香附醇的植物油，入药能理气解郁和调经止痛。

爱默生（Ralph Waldo Emerson）说过一句令人深思的话：“杂草是优点尚未被人发现的植物。”目前，生物多样性已成热门课题。因此，深入探索禾本科与莎草科植物在不同生态系统中的角色，并且从中探寻尚未被挖掘的自然资源，肯定有可能将废物化为黄金，将缤纷的生物库变成无价的百宝箱。

## 热带的水生植物

植物对水的需求量很大。在主要的作物中，小麦每生产1公斤的干物质，约需水300至400公斤；水稻对水的需求更高，每生产1公斤的稻谷，约需5000公斤的水。一般植物每吸收100克的水，只有约1克留在植物体内进行光合作用与其他生化反应，其余99克的水都在蒸腾作用的过程中散失于体外。

蒸腾作用能促进水分的吸收、运转和无机盐的分布。此外，蒸腾作用使水变成水蒸气，吸收源自阳光的热能，让热量在植物体外消失，以免因为过热而灼伤。

### 陆生水生分两大类

根据植物对水分不同程度的依赖与需求，生物学家将植物分为陆生植物（terrestrial plants）与水生植物（aquatic plants）两大类。

按照对土壤干湿的适应能力，陆生植物又可以分为以下三类：

- 湿生植物（hygrophyte）：在潮湿环境中生长，抗旱能力不强，例如羊齿植物等。
- 中生植物（mesophyte）：在土壤水分适中的陆地生长，包

括常见的陆地植物，例如果树和园圃花卉等。

- 旱生植物 (xerophyte)：在干旱环境中仍然能够正常发育、生长，例如仙人掌科的植物。

按照在水中生长的状况与水层的深浅度，水生植物可以分为以下三类：

- 挺水植物 (emergent aquatic plants)：上部茎秆与叶片大部分挺伸出水面，根部扎入土壤，例如稗草等。
- 沉水植物 (submerged aquatic plants)：整个植物体沉浸于水中，茎叶与大气隔绝，例如金鱼藻等。
- 浮水植物 (floating aquatic plants)：叶片漂浮于水面上，而根部浮于水中或扎根土中，例如浮萍与睡莲 (*Nymphaea* spp., 亦称waterlily) 等。

### 水陆环境迥然不同

水体与陆地环境迥然不同，水体的主要特点是光照强度比陆地弱、含氧量少，密度大、粘性高，温度变化平缓。水生植物在长期的进化过程中，为了适应水环境而形成了与陆生植物差异显著的形态结构，其生态特点也与陆生植物有着本质上的差别。

为了与光弱的水体相适应，水生植物的叶子一般较薄，有的叶片呈羽状、线状或带状；有的叶子宽大且半透明，从而增加光合面积，间接提高光合作用效率。水生植物的叶绿体不仅分布在叶肉的薄壁细胞中，还广布于表皮细胞，并且能随原生

质的流动而迁移至向光的位置，尽量利用水中微弱的光照来制造碳水化合物。

大气中的氧，比饱和着空气的水体多了将近二十倍，换言之，水体中的含氧量只等于空气中的5%左右。为了在低氧量的环境中生存繁衍，水生植物的通气组织都很发达。通气组织是薄壁组织内的胞间隙，能将叶片吸收的空气输送到根系，并且向根部土层分泌氧气，在积水的土层里形成一个氧化圈。当水田土壤水分饱和（saturated soil），或保持水层时，根系周围的氧气极少，水稻根系在进行呼吸时所需的氧气，主要由茎叶从空气中吸收后，再沿着通气间隙扩散至根系。水稻在三叶期由茎叶向根系输送的氧气，约等于总吸氧量的50%，低于稗草的60至67%。

通气组织除了有利于水生植物体内气体的运送和交换之外，也能增加水生植物的浮力。例如多年生的水生杂草过江藤（*Ludwigia adscendens*，亦称water primrose），长茎横走泥中，有白色呼吸根与通气组织连接。浮水茎的节上附着白色囊形海绵体浮器，亦由通气组织获取空气以利悬浮水中。

## 沉浮水植物根退化

由于水分供应充足，水生植物的维管束表现出不同程度的退化，沉水植物与浮水植物根部一般不发达，例如浮萍科的青萍（*Lemna minor*，亦称common duckweed）只有细根在扁平的植物体下伸展；少根紫萍（*Spirodela oligorrhiza*，亦称few-root duckweed）的根更幼细，而无根萍（*Wolffia arrhiza*，亦称

rootless wolffia) 仅以叶状体的腹面直接吸收水分。沉水植物的表皮细胞没有角质层、蜡质层 (wax layer), 整个淹没水下的植物体, 皆以表皮细胞逐步取代根的功能, 直接吸收水分、矿物质和溶于水中的气体。沉水植物如金鱼藻的机械组织退化, 植物体柔软纤弱, 可以减少水流造成的冲击, 一旦被折断后, 随水漂流, 并能长成新株, 以营养繁殖的方式繁衍。

在马来西亚的稻产区里, 由于双季稻的广泛种植, 稻田经常积水, 长期保持高度湿润, 形成与旱田截然不同的杂草群, 这些杂草绝大部分属于水生植物。稻田里繁生的杂草, 挤占土地和空间, 掠夺水稻生长发育所需的阳光、肥料和水分, 同时又能传播病虫, 恶化生境, 降低稻米产量和品质。大部分水田里的水生杂草属于高等植物中的被子植物 (即有花植物), 包括单子叶和双子叶植物, 少数为较低的蕨类和藻类植物, 都是自营生长 (autotroph) 的杂草, 至今仍未发现寄生性杂草 (parasitic weeds)。杂草中以一年生植物 (annual plants) 的种类居多。最常见的有以下数类:

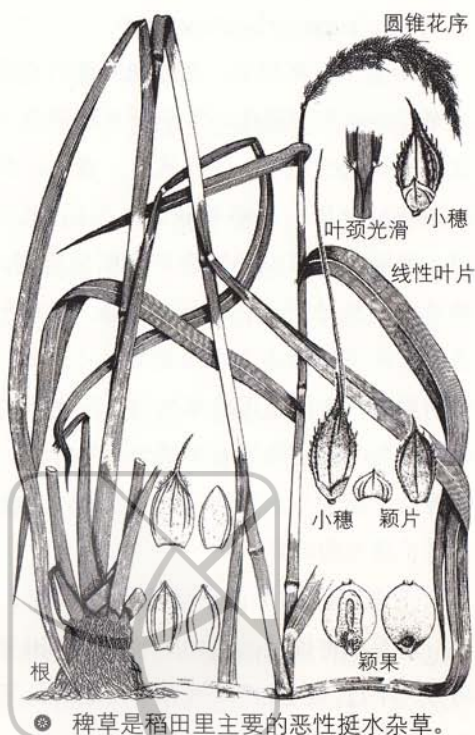
### 稗草 (*Echinochloa crusgalli*)

稗草是直播稻田里广泛发生, 造成严重危害的主要恶性挺水杂草。这类一年生禾本科杂草在热带与亚热带的田边、溪畔和沼泽地区非常普遍。由于能抗寒、耐干旱和适应性强, 稗草在盐碱性土壤中仍然能够生存。

稗草的茎秆丛生、直立、呈圆管形与无毛。茎的下部有时倾卧, 节能生根。叶片呈线形, 先端尖锐, 叶鞘光滑。在幼苗期, 稗草与水稻形态极相似, 令农民难以辨识。稗草与稻禾的主要区别, 在于稗草的叶片主脉明显, 草鞘与叶片交接的叶颈

光滑，并且没有叶耳和叶舌，反观水稻的叶颈，其叶耳与叶舌非常显著。

稗草在阳光与水分充足之处生长最快速，茎秆获得足够养分供应，能高达1.5米。稗草种子的休眠期长达三至四个月。潮湿土壤最适宜种子萌发，浅水无法抑制种子萌芽，只



只有在积水深达12厘米以上的情况下种子始不能发芽。

种子萌芽后十至十二天，第一个分蘖开始出现，稗草一般能长出约十五个分蘖。在马来西亚的水田里，稗草于萌芽后四十二至四十五天即开始抽穗。圆锥花序直立或下垂，呈不规则塔形，颜色深绿或紫红。小穗长3.5至4.5毫米，密集于穗轴的一侧。

稗草每株能结实数千，甚至万多粒种子。由于成熟期较水稻早，往往在萌芽后七十至九十天之间纷纷脱落，并于次季大量萌发，因此对水稻构成严重威胁。

### 千金子 (*Leptochloa chinensis*)

千金子亦称畔茅，在马来西亚的直播水田里，与稗草一样分布广泛，危害稻作，常见于水稻田埂、溪畔或润湿的荒地。这种一年生的杂草，茎秆丛生、直立，基部常倾卧，叶片线形或条状披针形，呈萎软状。在幼苗期，形态与水稻和稗草相似，然而对除草剂的反应却有明显差别。例如molinate能灭除稗草，但是对千金子却无法控制，因此在稗草与千金子混杂为患的水田里连续多个季节施用molinate，将导致千金子遍布水田的局面。农民选用除草剂前，应先检视杂草的叶颈，千金子在叶片与叶鞘交接处有膜质丝状的叶舌，而稗草的叶颈光滑无叶舌。千金子与水稻的叶部差异是：千金子无叶耳，而水稻有一对长茸毛的叶耳。

千金子在润湿的土壤中萌芽快速，然而若水深超过5厘米，萌芽率将锐减；在10厘米深的水田里，千金子的种子无法萌芽。不过，在整地时残存于田面的秆茎，却能通过腋芽在水中营养繁殖。

千金子一般于萌芽后三十五至四十五天即开始抽穗，萌芽后五十至六十天是开花的高峰期。圆锥形花序长约30厘米，小穗绿色至深紫色，排列于穗轴的一侧，种子比稗草的子实小得多。

由于千金子同时具有水生植物与陆生植物的特性，因此也能在旱田里蔓延，与旱地作物竞取水分与养料。

### 粗茎蔗草 (*Scirpus grossus*)

这种挺水草本植物属莎草科，在形态上与禾本科植物最显著的差异是秆茎有三锐棱，三面皆凹陷，茎中空且密布横隔。

粗茎蔗草的茎秆粗壮，直立，分蘖茂盛，高约120至200厘米，基部有匍匐茎，节生须根，匍匐茎端能长块茎。

蔗草的叶条形，全部由基部生长，呈莲座状。叶的长度几乎与秆茎一样长。

蔗草的花顶生，花序伞形，具有多个辐射枝，其下有叶状苞片三至四枚，其中两片比花序长。小穗卵形，锈褐色，具多朵小花，颖片以螺旋状排列。小坚果倒卵形，有三棱，表面光滑，色暗褐。

蔗草是多年生植物，能以小坚果或匍匐茎繁衍。

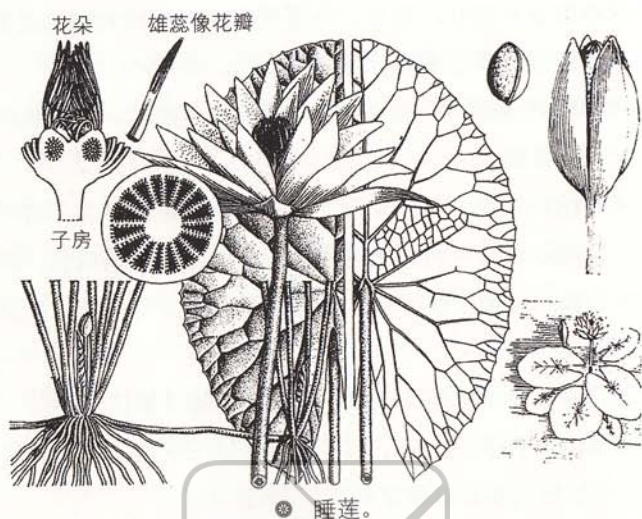
蔗草的茎秆很韧，晒干后可以用来编织草席、草篮。用来包扎粽子的草绳多数以蔗草的茎秆制成。

### 睡莲 (*Nymphaea* spp.)

睡莲是多年生的扎根浮水植物，叶呈圆盾形，其中一边弯缺，叶缘完整或呈齿状，叶的背面有柔毛。叶片漂浮于水面，并在水底泥中生匍匐状的地下茎，叶片与地下茎由长叶柄连接，通气系统非常发达。

睡莲的花异常鲜艳，有的洁白如霜，有的红彤如火，有的深紫如霞。花朵单生，在水面上绽放，花梗很长，与地下茎相连。花瓣旋列成杯状，内瓣比外瓣小。雄蕊多个，花丝状如瓣；雄蕊呈辐射状。浆果在水面之下成熟，腐裂之后释出种子，随顺水流传送，或沉入土中萌芽。

睡莲能为淡水鱼类提供食物，然而在灌溉系统中密集生长，也会因为妨碍排水工作而变成杂草。



### 菱角 (*Trapa bispinosa*, 俗称buffalo horn)

菱角是浮水植物，叶呈二形性，浮在水面的叶菱形，簇生成莲座状，叶缘如锯齿，叶面深绿色，背面紫红色。叶柄中部膨大成椭圆形，内含海绵体气囊。沉于水面之下的叶对生，羽状半裂，悬浮时乍看像须根，能吸收养分。花细小、单生、具花梗，花瓣在蕾中呈覆瓦状。花萼四瓣，护着半下位子房，结成硬壳果之后，形成果实上的弯角。果黑色，具不规则肋状凸起。

菱角在高温与阳光充足的池塘或河流里生长茂盛。在马来西亚，菱角于阴历七、八月间成熟，果可生食或煮食，有清热利尿的药疗效用。然而，在稻田的排水系统中与睡莲混杂生长，能妨碍水体的流动，严重时使低洼的稻田排水不顺畅而泛滥成灾。

### 槐叶苹 (*Salvinia molesta*)

槐叶苹是水生蕨类植物，池塘、水库和稻田中常可见到。植物体约10至20厘米，细茎横走能分枝，其上有深褐茸毛，茎上无根。叶分为两类：浮水叶与沉水叶。浮水叶在茎的两侧密聚成列，叶长约1.2至1.5厘米，绿叶具明显中肋，叶缘向上翘起，其上密布



乳头状突起。沉水叶在水中裂成细线状，形态如根，孢子果 (sporocarp) 为球形，簇生于沉水叶的叶柄基部，披褐色茸毛。在马来西亚，孢子一般不育，因此槐叶苹主要以无性生殖繁衍。在水田里，槐叶苹生长快速，遍布稻田水面，严重影响稻苗的生长与发育。

### 黑藻 (*Hydrilla verticillata*)

黑藻亦称轮叶水草，是沉水的单子叶植物，常见于水流缓慢的溪沟和静水池。大量生长时，长茎能延伸至2米，并且能分枝，形成庞大的生物量。

黑藻的叶呈线状长圆形，约10至15毫米，宽1毫米。叶缘有细锯齿，无柄，四至八片叶在茎上轮生。黑藻的花腋生，雌

雄异株。花萼片三个，瓣三枚。雄花有雄蕊三枚，成熟时浮于水面。雌花有柱头三枚，子房细长，单室，内含种子二至三粒。黑藻对酸性水质敏感，在pH值低于4的环境中无法生存。黑藻能同时进行有性与无性生殖。断茎随水漂流，能长出不定根，依附于浅水土层再度生长蔓延。此外，在土层下能生具鳞根出条的茎，在水中迅速繁衍。



### 金鱼藻 (*Ceratophyllum demersum*)

在小河流、小泥沟与水田里生长的金鱼藻，是多年生的沉水植物。茎纤细、分枝。叶细长，针状轮生，呈叉状分裂，长约2厘米，边缘仅一侧有细齿。金鱼藻的花腋生，雌雄同株。花细小，没有花萼与花瓣，雄蕊和雌蕊个别由不同数目的苞片围绕。雌花的子房呈长卵形，花柱一枚。子房仅有一室，内有一枚胚珠。果实为质硬的坚果，基部侧生二刺针，长约5毫米。金鱼藻密集聚生，常与其他水生植物混杂，影响垂钓和其他水上活动。

水生植物能改变生态环境，将湖泊演变成沼泽地。当奔腾的溪流汇入平静的湖里，由于流速减缓，泥沙在河流入湖之处沉积，使湖水变浅。随着湖水深浅的不同，千姿百态的水生植物也逐渐在各自的生境里繁殖。在浅水地带生长的

香蒲 (*Typha*, 亦称cattail)、芦苇 (*Phragmites*, 亦称common reed) 和蘆草, 向湖心层层推进, 聚合了浮水植物如浮萍、睡莲、布袋莲 (*Eichhornia*) 和眼子菜 (*Potamogeton*), 以及沉水的各种水藻, 形成不断扩展的绿毯。这些水生植物死亡之后, 腐烂的残体在湖底堆积, 形成泥炭, 其上长满了各种各样的植物, 变成了生态系统万分复杂的沼泽丛林。

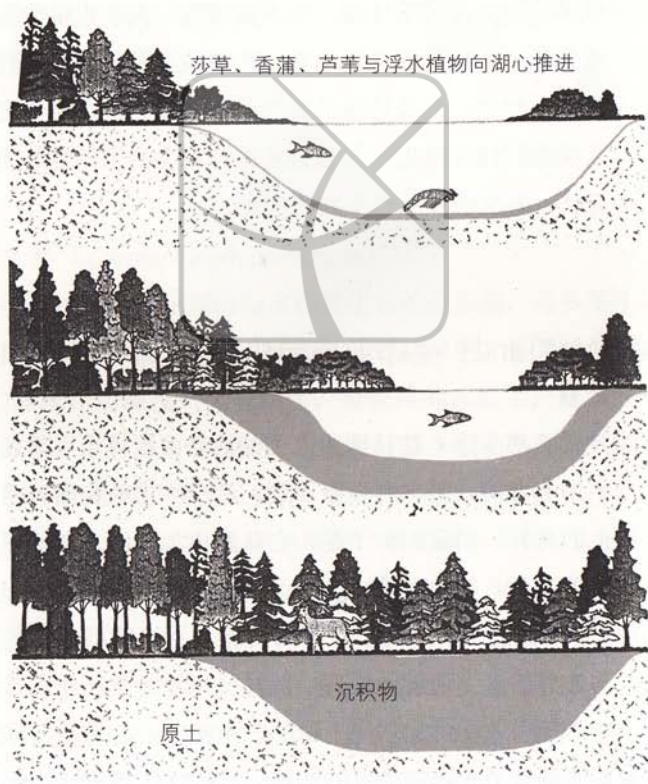
沼泽湿地是多种鱼类与鸟类的栖息场所, 水草也为鸟类和其他动物提供营巢繁殖的材料。许多鸟类以昆虫为食, 以鸟治虫好处很多, 因为不污染环境, 也不留残毒, 天敌也很少受到损伤。倘若湿地的保护和管理不善, 乱捕滥猎各种动物, 任意破坏各类水生植物, 令经过漫长岁月逐渐形成的稳定自然生态失衡, 人类的居住环境也会因为自然资源和生物多样性的缩减而日益恶化, 甚至引发意想不到的灾害。

## 湿地 (Wetland) 生态形成异变

湿地的自然生态, 往往因为人类的活动而出现不可思议的变化, 例如非洲的一些水利灌溉计划, 造成水生植物的群落出现结构上的变异。明显的例子是: 自从塞内加尔河下游修建了水坝和水库之后, 浅水与滞流的沿河洼地让原地香蒲 (*Typha australis*) 大量繁殖, 封闭了原有的河流与主流的联系, 并且切断了与外界的水上通航。随后一些村民将槐叶苹当作观赏植物, 于1999年引入塞内加尔河下游的三角洲之后, 香蒲与槐叶苹在短期间铺盖了长约70公里的河流。这些水生植物成为蜗牛的潜匿与繁衍之所, 其中一些蜗牛是血吸虫 (*Schistosoma*) 的

中间宿主，结果血吸虫所引发的血吸虫病（Schistosomiasis）严重威胁村民的健康。此外，槐叶苹的根状沉水叶庇护疟蚊和斑蚊（Mansonia）的孑孓，也间接促使疟疾和丝虫病（filariasis）的蔓延。

为了防止危害人畜健康的植物，包括多种水生植物从国外传入，很多国家已建立起对内和对外杂草检疫制度，并且严格执行，尽量缩小杂草的传播范围，以期达致清除的目的。



④ 湖泊变成沼泽丛林的过程。

## 婀娜多姿的棕榈

2004年12月26日，印尼苏门答腊西北部发生了强度达到里克特制（Richter scale）九级的大地震，同时在印度洋引发了恐怖的海啸。由千亿吨海水形成的巨涛，在海上以每小时约750公里，也就是飞机横空而过的航速，狂袭印度洋周边的国家，包括印尼、泰国、马来西亚、缅甸、斯里兰卡、印度、马尔代夫；位于数千公里之外的非洲大陆，其东部的一些国家也受到波及。根据报导，滔天巨浪掀起的水墙甚至超过10米，比一般树木还要高。当汹涌的海浪倒灌入离岸数里的乡村和城镇，成千上万惊慌失措的大人与小孩，转瞬间都在浪涛里消逝无踪；而万顷良田受到海水淹没之后，也顿时变成荒土。

这场令人悲伤与震惊的自然灾害发生过后数日，一艘渔船在印度洋救起了一名二十三岁的亚齐少妇。这个死里逃生的灾民被海啸卷走时，拼命抓紧身旁一株遭巨涛连根拔起的水椰（*Nypa fruticans*, shrub nypa, 马来名称是nipah），亦即俗称的亚答树（attapalm）。在海上漂浮的漫漫六日里，她全靠雨水解渴和吃水



④ 水椰。

椰的果实，即亚答子（北马著名小食红豆霜里的attap chee）活命。

相隔数天之后，又传来了一名印尼男子在印度洋被一艘货柜船救起的消息。这个幸运的灾民巧遇漂浮而来的破旧舢舨和木筏助其逃生。他靠着漂过身旁的椰子充饥解渴，在海上苦熬了十五天才获救。这两名奇迹生还的幸运者，全凭棕榈科植物的果实提供宝贵的养分才逃过这场灾劫。

千姿百态的棕榈在风里婆娑，是赤道边沿的岛国令人瞩目的特色。许多首次到访的西欧植物学家，都对热带地区随处可见的各类棕榈印象深刻。主要原因是，温带的单子叶植物绝大部分都是较矮小的禾本科（grasses）、莎草科与百合科（lilies）等植物。反之，在热带，许多单子叶植物都长得异常壮硕，如旅人蕉、大叶芋和修长的竹类等，其中高大的棕榈随风摇曳，更洋溢着令人难忘的热带风情，与温带庞然的双子叶植物各显风采。

棕榈和其他单子叶植物一样，主根不明显，具须根系，木本茎（woody stems）内没有年轮。由于胚只有一片子叶，因此每次只有一片新叶形成于树冠上，新叶未开时，笔直如剑，向上挺举，因此一些欧洲植物学家以“剑树”（Sword trees）来形容这类植物。

马来半岛是棕榈之乡，从沼泽到田原，从平野到高山，棕榈无所不在，随处可见。中国周云龙主编的《植物生物学》内记载棕榈科有大约二百属，三千种，中国有二十二属约八十四种。反观马来西亚，惠特摩尔（T. C. Whitmore）著的《马来西亚的棕榈》这本书里，在1979年第二版内已记录了三十四个野生属（wild genera）和二百二十个野生种（wild species）。单

单新加坡岛上就有十八属四十六种，与整个非洲大陆的十五属五十种比较，相差无几。在三十四个野生属中，共有四个属的棕榈为马来西亚的特有属（endemic genus），这些棕榈只在马来西亚的野生环境中生长。

棕榈科植物中，有乔木、灌木和木质藤本（woody cane）。有的棕榈树身遍布皮刺，干茎木质不分枝。棕榈的叶变化多端，有的呈掌状分裂或羽状复叶。棕榈的叶集生于树干的顶部。叶柄基部宽阔，扩大成鞘。肉穗花序通常多分枝，形成初期里护于一至数片佛焰苞（spathes）内。棕榈的花小，一般座生，数目繁多，有的花单性，有的两性。花被有六片，分两轮排列，即外轮三片及内轮三片。雄蕊三或六个，一般以三加三两轮排列。雌蕊的心皮三个，分离或结合。子房上位，一或三室，含一至三粒胚珠。果实为浆果、核果或坚果。种子具丰富的胚乳，染色体介于十三至十八个之间。

属于裸子植物的苏铁，也具有簇生于茎顶的大型羽状复叶，因此一些人常将苏铁误当棕榈科植物。苏铁亦称铁树，是热带的常绿乔木，在温带常因低温而不开花，所以一旦铁树开花就成为轰动的奇闻。苏铁与棕榈最明显的差异是幼叶拳卷，不长剑形的新叶，而且多片新叶同时形成。苏铁雌雄异株。此外，苏铁不能形成子房和果实，胚珠与种子皆裸露。雄球花很大，单生于茎顶，呈圆柱形，顶端略尖，由无数螺旋状排列的小孢子叶组合而成，初开时呈橙黄色，成熟时变成褐色。雌花的大孢子叶丛生于茎顶，下部成长柄，两侧生有二至六粒胚珠，成熟的种子呈橙红色。

在马来西亚，常见的棕榈科植物包括以下数类：

## 椰子 (*Cocos nucifera*, coconut)

大自然馈赠予人类各种最宝贵的恩物之中，椰子肯定是其中之一。人类在远古的年代里，已懂得利用椰树的每个部分来满足生活上的需求。椰根是热带岛国居民便利的牙刷，树干用于造桥、建屋、编筏，椰叶可用来遮风蔽雨，椰肉可食用和提取油脂，果实的纤维可制成绳索、床垫和刷子，椰壳是很好的燃料。未开的佛焰苞与其内的花穗于切伤后流淌出来的汁液，含有可口的糖分与丰富的维生素B，经过发酵变成醉人的椰花酒 (toddy)。

椰树的高度不一，最高可超过27米。叶大且长，呈羽状全裂，一般长约6至7米，由超过一百对的狭长小叶组成。幼苗期的椰叶属于单叶，其后叶脉之间出现窗隙，逐渐长大之后，才长出完整的羽状复叶。

椰子的花序称为肉穗花序 (spadix)，花轴部分变得肥厚肉质化，由两端呈尖锥形的如鞘大苞片整个包住。棕榈的大苞片称为佛焰苞。椰子的花序腋生，雌雄同株，雄花生于花序上，而雌花则生于接近树干的花序基部。一般雄花数目繁多，每个花序有二百至三百朵，而雌花则寥寥无几。雄花有六个雄蕊，而雌花有三个心皮，具三室子房，每室一胚珠，但只有一个胚珠成熟。去皮的椰子硬壳上有三个凹孔，俗称“眼”，即三个结合为一的心皮遗痕。

椰子花序顶端的雄花最先绽放，然后顺序由上而下逐渐开花。椰子每个花序的开花期可长达十四天，随后雄花凋萎脱落。雌花较迟开放，而且同一株椰树每次只有一个花序绽放，因此，大部分的椰子树都进行异花传粉，只有小部分能完成自花传粉。雌花有三个蜜腺 (nectaries)，吸引昆虫前来采蜜传

粉。此外，椰子也借助风力将花粉传播。受精作用完成后，子房的两个心皮败育，果实由仅存的一个心皮发育而成。

椰子是呈球状的纤维核果，外果皮革质，未熟时光滑，有的品种黄色，大部分绿色，成熟后变成黄褐色。中果皮很厚，由粗松的纤维组成。这些纤维使椰子在海上如皮球一样轻而易浮，并且不易腐烂，能随海潮漂流千里，被浪涛冲向浅滩后，只要环境适宜，就很快萌芽生长。内果皮（亦称椰壳）坚硬，其上的三个凹孔（萌发孔），只有一个能萌长出嫩苗，因为果实里只有一颗种子。种子的种皮很薄，内贴着一层白色的固体胚乳。固体胚乳就是鲜美的椰肉，其内有一个空腔贮存着液体胚乳，也就是清凉可口的椰水。

椰子树曾经是马来西亚的重要经济作物。马来人过去除了种稻和捕鱼之外，日常生活都需靠椰业来维持。第二次世界大战之前，是马来半岛椰干业的全盛期，全国各地都有大规模的椰园。在1940年，西马的椰园总面积为24万3000公顷。日本南侵时，许多椰园被荒废，西海岸一带椰树大量枯死。1950年代韩战发生，食油价格腾涨，荒废的椰园因此获得整顿。1970年代之后，由于油棕的经济效益较高，很多椰园主人决定改种油棕。城市的发展，也使原本椰林繁密的地区如檳城的威士利省（Province Wellesley），以及霹雳、雪兰莪和柔佛州内新镇地区的椰林锐减。在2000年，西马加上沙巴与砂拉越的椰园面积仅22万公顷，其中不少椰园间种其他果树，例如咖啡与可可等。

椰树可分为高品种和矮品种两类。高品种一般于种植七至十年之后才结果，矮品种则只需三至四年就能结实。以马来亚的矮种黄椰（Kelapa Rendah Kuning Malaya）与西非洲的高干

椰子 (West African Tall) 杂交培育出来的MAWA品种, 结实期短, 果实多而肉厚, 每公顷年产约3吨。

马来西亚的椰树常受犀牛甲虫 (*Oryctes rhinoceros*, 俗称 rhinocero beetle) 侵害。雌虫一般产卵于腐叶或牲畜的排泄物中。孵化成幼虫之后, 经过数次蜕皮 (molting) 而成蛹。蛹期约一至二个月。成虫嚼食椰树合拢未开的嫩叶, 受到损伤的椰叶完全舒展之后, 羽状复叶会出现明显的楔形缺口。

油棕 (*Elaeis guineensis*, oil palm, 马来名称为kelapa sawit)

油棕是树干粗壮的常绿乔木, 能长至28米高。叶大, 羽状全裂, 丛生于树干顶部。油棕与椰子的复叶最显著的差异是: 椰叶的叶轴 (指叶柄以上叶子的轴, 即小叶着生的部分) 左右两旁各有一排小叶, 共两排; 而油棕叶轴左右各有两排小叶, 共四排, 小叶总数介于六十至一百六十对。油棕的叶柄基部稍宽, 紧附于树干上, 叶柄两侧有尖刺。小叶深绿色, 可长达1米左右。一般油棕能长六十片大型复叶, 经过修割, 通常会有四十至四十八片叶, 以螺旋状环绕于主干上。

油棕是雌雄同株的植物。花序分两类, 雌花序形成于较低的复叶之叶腋上, 而雄花序则生长于较高的新叶之叶腋。雌雄花序都受到宽大的叶基护扶。

雄蕊的肉穗总花序由佛焰苞围套, 总花梗短而壮硕, 分枝成多条圆筒形的褐色穗状花序, 无数小雄花陷聚于穗状花序的组织中。每朵雄花的花被六瓣, 雄蕊六枚, 花药呈箭头状。

雌蕊的总花梗比雄蕊的更粗壮, 并长出一百余个分枝, 每个分枝上有十余朵雌花。每朵雌花有一个苞片以及六瓣花被, 即内轮三瓣和外轮三瓣, 约半寸长, 呈干膜质状。子房上位,

由三枚心皮结合而成，卵球形，其上的花柱有三个相连的柱头。子房单室，内含单一胚珠。雌蕊花序于受精后需半年时间长成大串束油棕果，聚生于果柄上。油棕果的外果皮呈黄红色或棕黑色，中果皮多纤维，含有丰富油质与胡萝卜素，故呈棕黄色。内果皮是硬壳，内有棕仁。

油棕树原产于非洲，于1848年由欧洲人引入印尼的茂物植物园（Bogor Botanical Garden）种植，并于1870年引入新加坡。

油棕是油料作物中每公顷产油量最高的植物。据马来西亚著名植物学家朱乾海博士的研究报告，马来西亚一些园丘每年每公顷产油7至9吨。若要生产等量的油，大豆、葵花和菜子的种植面积必须扩大五至十倍。马来西亚种植的Tenera品种，由Dura与Pisifera这两个品种杂交而成。Tenera品种的棕油产量比Dura品种多20至25%。

据2002年的统计报告，油棕在马来西亚的总面积为3.67百万公顷，较十三年前增植了1.64百万公顷，其中59.9%位于马来西亚半岛，29.4%位于沙巴，其余10.7%位于砂拉越。

西谷椰子（*Metroxylon sagu*, sago palm, 马来名称为rumbia或sagu）

西谷椰子在马来西亚俗称硕莪，野生于马来农村附近的低洼地带或溪涧之畔。树干粗壮，高约10米，基部直径约1米，树干中部富含淀粉。由于能从根部出条，并长成吸枝（suckers），因此常聚生成丛。

西谷椰子生长了约十五年之后，才于树干顶部形成庞然的花序，并于开花结果完毕时逐渐枯萎朽烂。西谷椰子的果实宛若苹果，上下凹入，果皮厚，呈海绵状。叶大，羽状全裂，小

叶长，深绿色，用来盖屋能耐多年。

为了提取淀粉，西谷椰子通常于开花前被砍伐。每棵椰子可获100至290公斤淀粉。

### 槟榔 (*Areca catechu*, betel palm, 马来名称为pinang)

槟榔的树干瘦长光滑，高约20米，成长初期，树干青绿色，长高后逐渐转变成黯灰色。叶柄脱落后，留在干上明显的横纹呈箍状。

槟榔叶羽状全裂，比椰子和油棕的复叶短，而且弯曲成拱形以致叶端朝向下方。

槟榔的肉穗花序多分枝，枝上的雄花数目远远超过雌花。核果呈卵球形，长约4至5厘米，成熟后外果皮橙黄色，中果皮多纤维。核果内有一枚灰褐色的种子。槟榔的种子含丹宁和生物碱，主要成分为arecoline，具有很强的药理活性，可供药用，能助消化和驱除肠道寄生虫。

东南亚许多土著将槟榔的种子切成薄片，涂上石灰，加入香料，有时添加烟丝，卷于萎叶 (*Piper betle*, 俗称betel pepper) 内咀嚼，使唾液变成血红色。他们相信嚼槟榔能固齿和防痢疾 (dysentery)。

### 树头棕 (*Borassus flabellifer*, palmyra palm, 马来名称是tal或lontar)

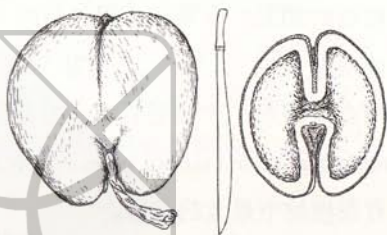
树头棕源自印度，大约于14世纪时由航海员引进马来半岛。在吉打州和玻璃市州的水田里，常见树头棕排列于田塍旁。

树头棕的树干高约20米，叶片掌状分裂，宽约1至1.2米。密集于树干顶部向四方八面舒展。肉穗花序长1米左右，由叶

柄基部伸出下垂，佛焰苞的基部呈管状。果实浑圆，直径约15至20厘米。果皮多纤维，内有三枚不相连的种子，个别由石质外壁包裹，胚乳同质，口感佳，可制成罐头食品。

在马来西亚，树头棕常被误称为海底椰。其实，真正的海底椰拉丁学名是*Lodoicea maldivica*，英文名称是double coconut。海底椰的果实硕大，植物学家描绘其形态时说：切开后，巨大的果实若两个椰子接合起来，形同连体婴。

马华作家彼岸著的科学小品集《热带山海经》里，有一篇关于海底椰的文章。彼岸在文内阐释：“这种植物要生长到一百年或者更久才能开花结果。果实要十年才能成熟。正确地说，海底椰是世界最大的种子，波罗蜜是世界最大的果实。”



● 海底椰是世界最大的种子。

蒲葵 (*Livistona chinensis*, Chinese fan palm, 马来名称是serdang)

蒲葵的树干与椰子的相似，高约8米，很少超过13米。叶片掌状分裂，中脉显著，小叶分叉，形成下垂的长线。叶柄长，边缘有刺，基部有多层交织的叶鞘纤维。花小，两性，雄蕊六枚，雌蕊有三枚心皮，只有一个心皮能长成果实。果实球形或椭圆形，聚生于花束 (truss) 上。蒲葵的嫩叶可用来制造蒲扇，叶脉可制牙签，种子可入药。



● 蒲葵。

### 大王椰子 (*Roystonea regia*, Cuban royal palm)

大王椰子亦称王棕，树干挺秀，高约16至23米。茎幼时基部明显膨大，老时中部膨大。叶羽状全裂，长约3米，小叶蓬乱排列成四行。叶聚生于茎顶，树冠下的茎部光滑翠绿。果实小而圆，棕红或深紫色。在马来西亚，大王椰子通常植于城市内的行道旁或庭院中。

### 行李叶椰子 (*Corypha elata*, 马来名称是ibus或gebang)

行李叶椰子是粗壮的乔木，树干基部圆周约1.2至1.4米，树高约20米。叶掌状分裂，幼时干上常附着持续留存的叶柄，柄基分裂为二。叶大，掌状分裂，小叶尖端分叉。花序顶生成金字塔形，主轴笔直，旁枝舒展。行李叶椰子中的*Corypha umbraculifera* (talipot palm) 的花序长约7米，宽12米左右，是有花植物中最大的花序。

行李叶椰子与西谷椰子一样，在树干内储存大量淀粉。

### 水椰 (*Nypa fruticans*, shrub nypa, 马来名称是nipah)

水椰的根茎横埋于沼泽的泥泞中，羽状复叶丛生其上。叶长约6.5米，小叶呈披针形，分两行排列于壮硕的叶轴上。肉穗花序直立，由革质佛焰苞围套。果实有棱角，顶端尖，密集于果串上。

水椰的叶可制盖屋的亚答，小叶片的角质层可制烟卷，幼嫩的花序割伤后流出的汁液含大量糖分，可以酿酒。

### 野棕 (*Oncosperma tigillarum*, 马来名称是nibong)

野棕的树干笔直，丛生，布满尖刺。叶羽状分裂，复叶弯

曲，其上的小叶显著下垂。野棕提供很优良的木材，能耐咸水与抗白蚁，常在沿海一带用来制造捕鱼的奎笼（kelong），削片后可制地板。原住民常以茎上的尖刺来制造吹筒的毒针。

猩猩椰子（*Cyrtostachys lakka*, sealing wax palm, 马来名称是pinang raja）

猩猩椰子原本野生于马来西亚的泥炭沼泽丛林中。羽状复叶形成的叶冠下，茎部彤红鲜艳，是全球最光彩夺目的棕榈之一，因此普遍植于公园与庭院中，成为很受欢迎的观赏植物。

鱼尾葵（*Caryota* spp., fishtail palm, 马来名称是rabok或lukas）

鱼尾葵的特点是具有二回羽状复叶，由上而下开花。小叶宽阔，叶端与边缘有参差不齐的缺口。穗状花序悬垂，花朵以螺旋状密集其上。开花结实后，鱼尾葵就逐渐凋萎。

藤（Rattans, 马来名称是rotan）

藤是攀缘棕榈的总称。东南亚是藤的原产地，而马来半岛则成为这个地区的中心。马来西亚的藤类分为九个属，其中两个主要的属是省藤属（*Calamus*）和黄藤属（*Daemonorops*）。藤属的特点是果实有鳞状表皮，叶鞘有刺。为了在浓密的热带雨林中生存，藤属植物能使节间大大伸长，并凭借如梳的皮刺钩着附近的植物向上攀爬，直达密林之上争取阳光。

棕榈是唯一具有乔木状习性的



④ 藤。

单子叶植物，为人类提供重要的油料、纤维、淀粉、建筑材料和药物，用途很广。这些宝贵的生物资源近年来已因人口激增，城市发展与农业生产活动范围扩大，造成森林、草原、沼泽急剧减少，直接破坏了棕榈的生态环境，威胁野生棕榈的繁衍和生存。为了保护自然资源，土地的开发必须强调可持续的长远规划，避免各种生物资源因为无知与疏忽而灭绝。



## 善于造土的蚯蚓

为进化论奠基的生物学家达尔文，曾对蚯蚓的生理和习性进行长期观察和研究。他在《论壤土之形成》这篇论文中，详细阐明蚯蚓对农业的贡献，并将土地沃力的复元，归功于平凡的蚯蚓。达尔文认为：“蚯蚓挖掘的时候，吞噬土壤中的物质，将富含营养的部分分离出来，而残余的部分则排泄于洞口之外。构成旧牧地表层土壤中的每一颗泥粒，都曾经通过蚯蚓的肠道。”

达尔文在论文中以鲜明的例子来描述蚯蚓不可思议的造土能力：“在新近开垦的荒地上，可以看到3寸厚的壤土。这些肥沃的土壤是蚯蚓消耗了十五年时间制造出来的。”他进一步观察之后惊讶地发现，之前曾在地面洒过石灰或是泥灰和煤渣的土地上，不到八年的时间，蚯蚓已经在泥灰之上覆盖了一层平均厚度约30至33厘米的土壤。

### 贫瘠土壤变成沃土

达尔文将他多年研究蚯蚓的心得，记录于《蚯蚓活动促进植物沃土的形成》（*Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms*）这本书里。他赞扬蚯蚓是农业的犁手，在无

止无休的工作中，默默地为植物幼苗备妥成长所需的土壤。这些平凡的动物，埋葬万物，使万物更新和恢复生机；改良土壤，使大地丰饶肥沃。这种低等动物所展现的强韧生命力，在许多高等动物身上反而无法找到。

蚯蚓属于环节动物门（Phylum Annelida）。环节动物是进化过程中最先出现分节现象（metamerism）的动物，也是无脊椎动物（invertebrate animals）在演化上迈入一个较高阶层的开始。所谓分节现象，是指动物躯体由许多形态相似的部分组合而成。每个部分称为一个体节（metamere，亦称segment）。体节与体节间由隔膜分隔，许多内部器官，如循环、排泄、神经系统的器官，都按体节重复排列分布。

环节动物分为三纲，即多毛纲（Class Polychaeta），代表动物包括沙蚕（Nereis）等；寡毛纲（Class Oligochaeta），代表动物是蚯蚓；蛭纲（Class Hirudinea），代表动物是吸血性的医蛭、山蛭等一类动物。

蚯蚓可分为陆栖蚯蚓和水栖蚯蚓两大类型。一般陆栖蚯蚓的体型较大，最大的蚯蚓Giant Australian Earthworm可长达3.3米，生长于澳洲吉普斯兰（Gippsland, Victoria）肥沃的土壤中。常见的正蚓（*Lumbricus terrestris*）能达到25厘米的长度。反之，水栖蚯蚓通常体型较小，结构较简单，多数在水域的植物表面爬行觅食，少数在水底软泥中穴居。目前已经分类的蚯蚓约三千余种，其中四分之三属于陆栖蚯蚓。

陆栖蚯蚓在土层里穴居，主要以腐烂的有机物为食，连同泥土一同吞噬。除了摄食植物茎叶的碎片之外，蚯蚓也同类相食。达尔文在钻研蚯蚓的习性时发现：“断成两截的蚯蚓尸体，分别安放于两个花盆里，最后都被拖入洞穴中，被同类啃

噬掉”。达尔文的结论是：蚯蚓吞食养分时贪得无厌，其食量奇大，令人叹为观止。动物学家估计，蚯蚓每日吞噬的大量食物、泥沙与小碎石，其排泄物总量与蚯蚓的体重相等。

## 蚯蚓的外部形态

蚯蚓身体细长，呈线形或圆柱状，有时略扁。蚯蚓没有耳、目、鼻等器官，也没有脚，头部亦不显著，躯体是集合了许多明显的环节而成。这些相似的体节之间具有节间沟（intersegmental furrows，亦称segmental lines）。

一般陆栖蚯蚓的体节数目较多，可高达六百节，普通的蚯蚓体节约介于一百至二百节之间。

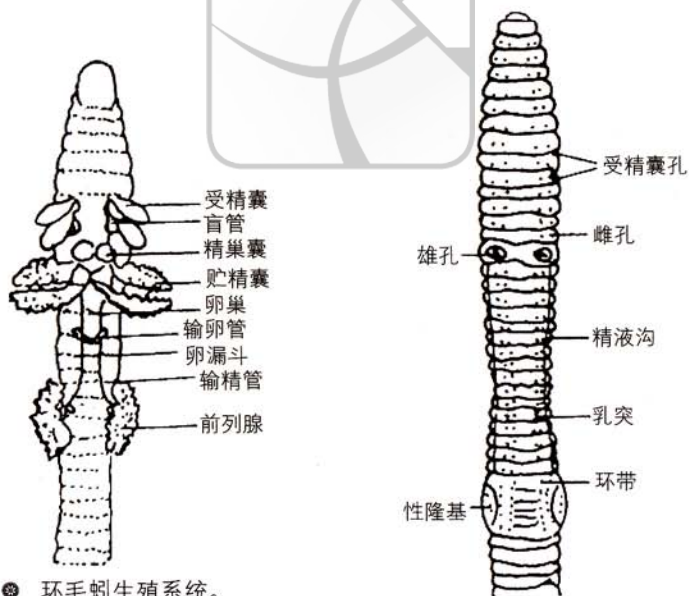
蚯蚓躯体前端第一节称为围口节（peristomium），其前有一个肉质的叶状突起物，称为口前叶（prostomium）。口前叶能膨胀伸缩，翻出口外，具有摄食和掘土的功能。蚯蚓的口腔内无颚、无齿，然而感觉敏锐。躯体末端有肛门，呈直裂缝状；食物的残渣化作蚓粪之后，通过直肠和肛门排出体外。

蚯蚓的体表由上皮细胞（epithelium）构成的皮肤保护，其外覆盖着一层角质层，具有防止体内水分失散的作用。蚯蚓身上的刚毛，由坚硬的几丁质形成。当刚毛在泥土中受到磨损而脱落之后，刚毛囊（setal sac）底部的形成细胞（formative cells）能分泌出几丁质来制造新的刚毛。刚毛配合体壁内的环肌（circular muscle）与纵肌（longitudinal muscle）的交替伸张收缩，以波浪式蠕动徐缓前进或倒退。有些生物学家戏称环肌与纵肌为脚车轮胎式肌肉。

## 戒指状呈明显特征

蚯蚓外部另一个明显的特征是戒指状或马鞍形的生殖带，亦称环带（clitellum）。环带是蚯蚓繁殖时的主要器官，由数个到数十个相邻的体节所形成。环带只在蚯蚓达到性成熟阶段时才出现。蚯蚓的环带中有粘液腺（mucous gland）、卵茧分泌腺（cocoon secreting gland）及蛋白腺（albumin gland），这些腺体的分泌物具有便利交配与提供营养的功能。

蚯蚓背部中央从十二或十三节间沟开始，每个节间沟有小孔，称为背孔（dorsal pore）。背孔开张时能够分泌出体腔液，润湿身体的表面，避免皮肤在蠕行中受到伤损，同时有利于蚯蚓顺畅地进行呼吸作用。



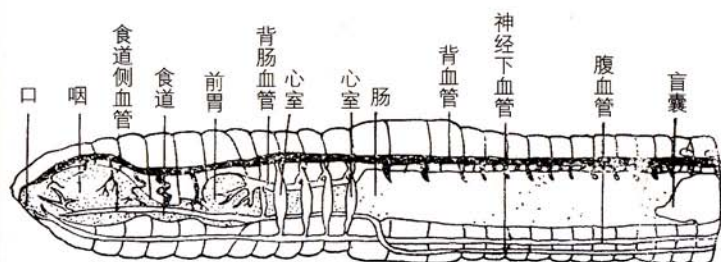
● 环毛蚓生殖系统。

● 陆正蚓身体前部腹面。

## 蚯蚓的内部结构

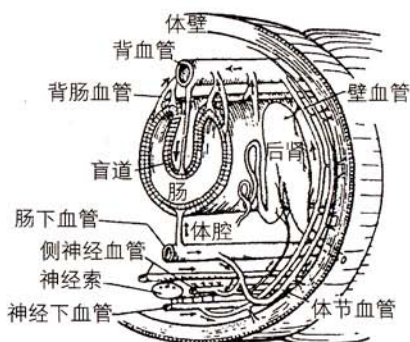
蚯蚓的躯体保持管中套管的结构。蚯蚓的消化管道是从口腔到肛门的一条直行通道，由口腔、咽、食道、嗦囊、砂囊、胃、肠和肛门所构成。陆栖蚯蚓的食道上有一对或几对钙腺（calciferous glands），能分泌钙质，将摄取过多的钙通过蚓粪排出体外，以维持体液和血液的酸碱平衡。因此蚯蚓有助于中和酸性土壤。嗦囊的功能是将食物暂时贮存，其后的砂囊内有砂粒，能将食物磨成细粒。胃壁上具有腺体，在消化过程中分泌淀粉酶（amylase）和蛋白酶（proteinase）。肠的上皮细胞也可以分泌含有多种酶类的消化液，有助于食物的消化和吸收。

蚯蚓的循环系统属封闭管式循环，由心脏、纵血管、环血管和毛细血管（capillary）组成，这些血管未分化出动脉与静脉。纵血管包括背面中央的背血管（dorsal vessel）和腹部的腹血管（ventral vessel）。背血管的管壁肌肉发达，靠其波状收缩，能令血液由后向前流动，经过数对由扩大且具收缩性联合血管组成的心脏，继续流入不能搏动的腹血管，由前向后周而复始地流动。毛细血管呈网状，遍布蚯蚓全身。由于无特殊



● 蚯蚓的循环系统侧面观。

呼吸器官，蚯蚓需依赖布满毛细血管的皮肤来进行气体交换。血液不含红血球，然而血浆富含血红蛋白（haemoglobin），故显红色。血红蛋白极易与氧结合及释放氧以供细胞呼吸。血液



● 蚯蚓的过肠道横切面。

携带氧气、营养物质、二氧化碳和代谢废物，带至体表和肾管（renal tubules）等器官，将养分分配，废物则排出体外。有些蚯蚓在缺氧的条件之下，能进行短暂的无氧呼吸，因此比一般蚯蚓有较长的生存时间。无氧呼吸产生乳酸，并且释放比有氧呼吸低的能量。漫长的雨季过后，由于土层积水，蚯蚓常到土表之上呼吸。

### 肾管组成排泄系统

蚯蚓的排泄系统主要由无数肾管组成。肾管很长，分布于每一体节里，在体腔内的一端有漏斗形的肾口，能收集代谢废物，另一端是开口于体表的肾孔，能将废物直接排出体外。有的肾管开口于肠壁内，让废物以含氮尿液的形式随粪便间接排泄出来。

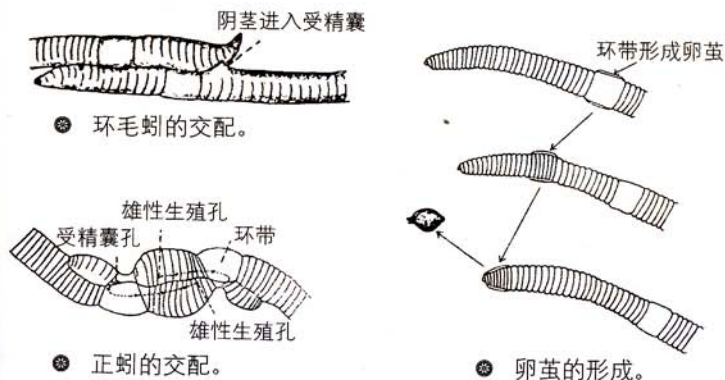
蚯蚓虽然无眼和耳，然而分散于表皮中的感觉细胞，在皮肤表面形成乳突，具有敏锐的触觉功能，可以察觉鸟类在其上的土面行走。蚯蚓表皮还有光感受器（photoreceptors），呈晶体状，与脑神经分支相连，能助蚯蚓回避强光，免受紫外线伤

害。

蚯蚓为雌雄同体的动物，每只蚯蚓都有雄性与雌性的生殖器官，然而其精子与卵的成熟期不同，因此必须通过交配来完成异体受精。雌性生殖器官有卵巢一对，输卵管及输卵管漏斗各一对，皆位于环带前部少数体节内，两条输卵管互相会合，开口于体节腹部的中线。其前的体节有数对纳精囊（seminal receptacle），亦称受精囊，用来贮存交配后的精子。雄性生殖器官包括位于精巢囊内的精巢二对、精漏斗二对、前列腺和贮精囊（seminal vesicle）。精巢产生的精细胞，先入贮精囊内发育，形成精子后，再转移到精巢囊，通过精漏斗和输精管输出。

### 头尾相反方向交配

蚯蚓交配时，两个身躯以腹部的前端相对，也就是说以头、尾相反的方向互相紧贴，并由生殖带（环带）分泌的粘液



将虫体连接。精液通过雄生殖孔递送入对方的纳精囊内。蚯蚓互赠精子到对方的纳精囊的过程约一小时半至三小时。完成交换精液的任务之后，两条蚯蚓各自分离。卵于交配数日后开始成熟，环带于是分泌出粘稠的液质，凝固后形成圆管状的粘膜管（亦称茧管），卵巢里成熟的卵即从雌性生殖孔排出，进入粘膜管内。粘膜管随后与环带彼此分开，并于虫体蠕动后退的当儿逐渐前移。当粘膜管移到纳精囊孔所在的体节时，早前通过精液互相交换而贮存于纳精囊内的精子，快速地倾注入粘膜管内，完成与卵的异体受精。粘膜管随后从蚯蚓前端脱落下来，两头封闭，形成卵茧（cocoon），留在土壤里。每个卵茧内的受精卵继续进行细胞分裂，长成一至三个胚胎，经过二至四周即育成小蚯蚓，破茧而出，开始新的生命历程。蚯蚓破茧后约经六十至九十天就能进行交配，繁衍后代。

一般土壤重量的1%至8%是源自有机物质。有机物质的定义涵盖任何含碳的生命体、排泄物、残留物以及生物的尸体。土壤微生物，例如细菌、放线菌和真菌等的主要任务是分解已经死亡的动、植物残体，将之转化成元素的离子，包括植物养分中的氮、磷、钾、硫、钙、镁等。然而，有机物质中的秸秆、甲壳和角质，往往必须先经过土壤动物吞食、破碎、消化和分解后，微生物始能进一步将有机物化为腐殖质。在分解有机物的自然循环过程中，蚯蚓的作用超越了其他土壤动物。达尔文当年估计：每英亩的花园土壤中约有五万三千条蚯蚓，每年由蚯蚓以蚓粪团粒（worm casts）的形式翻到土表上的泥土，介于7至18吨之多。现在一般生物学家认为达尔文低估了蚯蚓的虫口。在英国，每一英亩草地约有三百万条蚯蚓。

## 含蚯蚓土壤通气佳

据中国学者陈德牛和张国庆编著的《蚯蚓养殖技术》（金盾出版社），一般苹果园每华亩（15华亩等于1公顷）有干落叶80公斤左右，入冬前90%以上均被蚯蚓拖入土穴中逐渐吞食。由于蚯蚓的钻穴（tunnelling）习性，土壤的通气性获得显著增加，土壤中的空气含量能由8%提高到20%，甚至30%。土壤的毛细作用（capillary action）也因蚯蚓的活动而增加，从而提升土壤对降雨量的吸收和保持。

蚯蚓在土壤中的繁衍，能加速有机物碎屑分解，形成疏松的表层，同时使土壤中氮的总含量提高，增加土壤肥力。中国任淑仙编著的《无脊椎动物学》（北京大学出版社）中曾引用实验证明，在12℃时蚯蚓尸体二至三周内完全解体，其中残体内氮总含量的25%形成硝酸盐，45%形成氨。如果按每条蚯蚓产生10毫克的硝酸盐计算，若每公顷有三百万条蚯蚓，而蚯蚓的平均寿命为一年来计算，蚯蚓平均每年能为土壤提供217公斤的硝酸肥料。

土壤有机质中碳素和氮素含量的比值称为碳氮比率（C:N ratio）。有机碳是微生物活动的能源，氮是组成微生物体细胞的要素。土壤生物学家认为，微生物每吸收一份氮，还需要同时吸收五份碳用来建构自身细胞，以及消耗二十份碳作为生命活动的能量来源。因此，微生物进行分解活动时所需的有机质，其碳氮比率大致为25:1。如果碳氮比率大于25:1，有机物分解缓慢，同时微生物会与作物在土壤中争夺氮素。蚯蚓在农场与森林中将高纤维、高碳素的植物残体吞食，将氮留在蚓粪，而大量的碳以二氧化碳的形式通过皮肤排出，回归大气

层。由于蚯蚓的活动，使碳氮比率降至20:1之下，利于微生物分解有机质，给作物与林木提供大量氮素。曾经有人坦言：没有蚯蚓，地球上的森林可能完全改观。

## 鼓励农民养殖活动

蚯蚓繁殖力旺盛，适应力强劲，管理简易，因此在不少农业国里，蚯蚓的人工养殖日益受到重视。以澳大利亚为例，大规模进行人工饲养赤子爱胜蚓（*Eisenia fetida*，俗称虎蚓tiger worm）来加速堆肥分解的计划于十余年前获得突破之后，令许多有兴趣投资这门新兴行业的人士为之振奋不已。在马来西亚，农业局高级农艺师陈书理先生（Tan Dek）深入研究蚯蚓养殖多年，他在研究报告中指出：在本地尝试大规模养殖蚯蚓的先驱，是一位来自霹靂州班台的华裔农民。这位具有创业精神的先行者，于1996年从澳大利亚获取两百条赤子爱胜蚓，亦即虎蚓，在油棕园里成功培育之后，于同年8月再输入二十万条蚯蚓以扩展业务。赤子爱胜蚓一般体长介于35至130毫米，体宽3至5毫米，体节约八十至一百一十个，身躯呈圆柱形，体色鲜红，也可能因食物与环境因素而呈淡红褐色。在马来西亚的生态环境中，这种蚯蚓的适应能力相当强劲，其饲料以油棕的空果串为主。

马来西亚农业局获悉农民在本地成功养殖蚯蚓，决定进一步在别的州属研究和推展这项养殖技术。1997年9月，农业局从班台养殖场获取八十九条蚯蚓，投放于北马玻璃市州的农业实验中心，以方便严密和有系统的观察和研究。

陈书理的实验证明，以稻秆和牛粪混合而成的饲料，能于四个月期间，将蚯蚓的虫口增至八百一十五条，达至816%的增长率。

随后，农业局也尝试由外地输入红正蚓（*Lumbricus rubellus*，俗称red worm）进行养殖。红正蚓的体长介于50至150毫米，体宽4至6毫米，有七十至一百二十个体节，身体呈圆柱形，后部背腹扁平，背部红色。陈书理发现，红正蚓不适宜在北马大型养殖，原因可能是北马稻田里的土壤酸性较高，红正蚓对氢离子的高浓度反应较敏感，以致成长缓慢，死亡率亦较高。

### 掘穴蚓具有养殖潜能

陈书理认为源自本土的蓝色掘穴蚓（*Perionyx excavatus*，俗称local blue worm）具有很大的发展潜能。身体瘦长，介于120至150毫米，体色呈紫红金属光泽的蓝色掘穴蚓，繁殖力旺盛，成长快速。获取蓝色掘穴蚓的方法也极为简易，只需以潮湿的牛粪装满了有孔洞的饲料袋，将其安置于阴凉的香蕉芭或浓荫的果园里，即能吸引大量蚯蚓钻土而出，到来觅食。经过搜集、筛选和培育，这些本地蚯蚓就能用来进行大量繁殖。

目前，北马共有四个大型蚯蚓养殖场，其中两个由农业局提供技术援助的养殖场，位于玻璃市州的淡文都浪（Tambun Tulang），一个位于吉打州的瓜拉吉底（Kuala Ketil），另一个位于槟州的北海（Butterworth）。

蚯蚓养殖可用箱子或搭棚方式来进行，饲料也可就地取

材以降低生产成本。由于各类蚯蚓对生长环境的适应能力有很大的差异，因此，在投入资本进行大型养殖之前，最好先进行小规模饲养。有关地点的选择，首先必须确保附近的农田、园丘、果园没有经常施用大量化肥与广谱性剧毒农药，而水源也不受到常期污染。蚯蚓的天敌是小红蚂蚁、田鼠和鸟类。有效地减少这些养殖环境中的威胁，肯定能确保蚯蚓养殖获得事半功倍的效果。

陈书理认为蚯蚓养殖是本小利大的农村企业，若饲养环境不受农药污染、管理完善、方法正确，肯定能以低养殖成本获取高经济效益。他估计每公斤蓝色掘穴蚓约有虫口四千条，若为20公斤蚯蚓（约八万条）每日投喂20公斤牛粪，再混合其他有机废弃物，如稻秆、玉米秆、果皮、杂草、落叶、蔬菜残梗等来喂食，每日可搜集蚓粪约10至12公斤。按每20公斤牛粪约值马币2令吉，每公斤蚓粪目前市价约马币1.5令吉，那么每日生产的蚓粪约值15至18令吉，利润可观。

## 蚓粪富含植物养分

饲养蚯蚓是新兴的养殖业。优质蚓粪是有机农业最佳的肥料之一。马来西亚农业局的化学分析显示蚓粪富含植物养分，其含量如下：

氮 (N) : 0.8%

磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) : 0.5%

钾 (K<sub>2</sub>O) : 0.4%

钙 (CaO) : 0.8%

镁 (MgO) : 0.3%

铁 (Fe) : 0.1%

锌 (Zn) : 61ppm (百万分之61)

铜 (Cu) : 12ppm (百万分之12)

锰 (Mn) : 143ppm (百万分之143)

硼 (B) : 11ppm (百万分之11)

蚯蚓的蛋白质含量高，新鲜蚯蚓的粗蛋白约占体重的9%，风干蚯蚓的粗蛋白占体重的56%至62%。其赖氨酸 (lysine)、蛋氨酸 (methionine)、胱氨酸 (cystine) 和色氨酸 (tryptophan) 等基本氨基酸的含量都接近或优于饲用酵母。此外，蚯蚓的虫体富含维生素A、维生素B；铁、铜、锰和锌的含量皆超过这些元素在鱼粉中的含量。蚯蚓可提供畜禽和各种淡水鱼重要的养分，因此充分研发蚯蚓资源，对提高农民收入与环境保育都大有裨益。

## 奇妙的昆虫世界

在无脊椎动物中，昆虫对人类生活的影响最巨大深远。根据生物学家估计，全球已经分类的动物约一百五十万种，其中一百二十万个物种或五分之四的动物来自昆虫纲（Class Insecta）。由于还可能陆续发现新种，一般生物学家相信，地球上栖息着约三百万种昆虫。

### 节肢动物门（Phylum Arthropoda）四个纲

昆虫的“昆”是个生动的象形文字，上半部的“日”表示虫身有环节，下半部的“比”表示身体两旁具有可以弯曲爬行的脚。至于英文字insect，有的学者认为是in和section的缩写，section即段落、部分或环节。虽然并非所有身体有环节的动物都是昆虫，不过昆虫的祖先却很可能从环节动物门（例如蚯蚓等）进化而成。

在动物分类学中，昆虫属于节肢动物门，是动物界中种类和数量最多的一门。节肢动物门里有四个纲与人类的关系较密切：

## 昆虫纲 (Class Insecta)

身体分为头、胸和腹三部。头部有一对触角、胸部有节足三对、翅有两对、或一对、或无翅。呼吸器官为体腔内的丝状气管 (tracheae)。

## 蛛形纲 (Class Arachnida, 亦称蜘蛛纲)

身体分为头胸 (cephalothorax) 与腹两部。头胸部有节足四对, 无翅。呼吸器官是气管或书肺 (lung book, 亦称肺书)。

## 甲壳纲 (Class Crustacea)

身体分为头胸与腹两部。头胸部有两对触角, 五对节足, 腹部另有五至六对节足。无翅, 主要呼吸器官为鳃 (gills)。有些小型甲壳动物以体表呼吸。

## 多足纲 (Class Myriapoda)

身体分为头部与圆长躯干。头部有一对触角、无翅。躯干分节, 每节有足一至二对, 靠气管呼吸。

最常见的甲壳纲动物是虾和螃蟹, 最为人知的多足纲动物是蜈蚣和马陆。

昆虫的适应能力很强, 因此分布非常广泛。从江河到沙漠, 从陆地到空中, 从平原到高山, 从赤道至南极和北极, 许多动物无法生存的恶劣环境中, 昆虫仍然能够顽强地存活。昆虫很可能是地球上最早在空中飞行的动物, 这种长程迁飞的能力, 令昆虫能够在火山爆发、地震与洪水等自然灾害发生之

后，最先在灾区里重新定居下来。然而，能够在大海里生存的昆虫却非常稀少。科学家曾提出不同的理论来阐释海洋没有昆虫繁衍的原因，例如：海浪和盐分使昆虫不易生存，海洋的鱼类捕食昆虫，海洋里缺乏能为昆虫提供生存空间的大型植物等。然而，这些观点皆无法令所有科学家完全信服。

### 身体明显分三部分

昆虫的身体明显地分成头部（head）、胸部（thorax）和腹部（abdomen）。头部有一对复眼（compound eyes）和三个单眼（ocelli）。复眼由许多小眼构成，观察事物时，各个小眼的影像相互拼合镶嵌，感知物体的形状和颜色。昆虫和人类视觉上最大的差异是人类只能看见可见光（即彩虹的七种颜色），然而昆虫却能看到比人类可见光的波长还短的紫外线。人类的三原色是红、蓝和绿，而昆虫的三原色是绿、黄和紫外线色。透过紫外线，昆虫能看到人类肉眼看不到的东西。

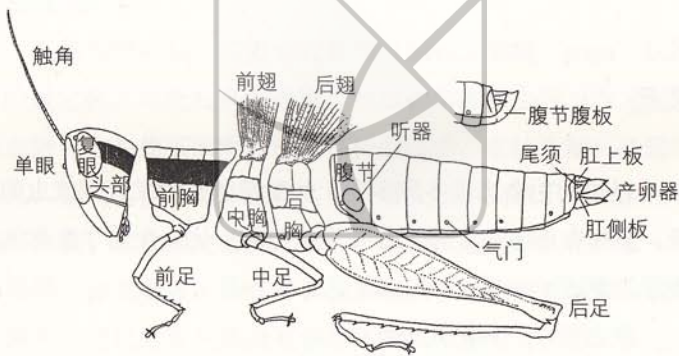
昆虫的头部有一对触角，呈多节状，具有触觉与嗅觉的功能。昆虫的口器一般最明显的部分是上唇、下唇、下颚及小颚。在进化过程中，为了适应各种不同类形的食物，昆虫的口器产生了很大的变异，常见的有蟑螂的咀嚼式口器，马蝇（horse fly）的割切绵吸式口器，苍蝇的海绵式口器，蚊子的刺吸式口器和蝴蝶的吸管式口器等。

昆虫的胸部由三个环节组合而成，即前胸（prothorax）、中胸（mesothorax）和后胸（metathorax）。每个胸节各有一对足。后足粗壮，适合跳跃。

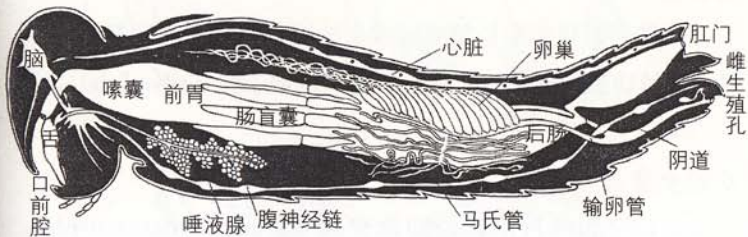
许多昆虫成长之后都有翅，一般由中胸长出两片前翅，后胸长出两片后翅，总共有四片翅。蝇类与蚊类等双翅目（Order Diptera）昆虫只有两片前翅，后翅已退化为平衡棒。属于直翅目（Order Orthoptera）的蚱蜢，前翅狭长革质，后翅宽广膜质，静止时成扇状折叠于前翅之下。

昆虫的腹部在原始物种中有十二个节，一般只有十至十一节。末端几节一般演变成外生殖器。雌虫具有产卵器，而雄虫具有交配器。

昆虫的呼吸系统由气管组成。气门与主管相通，微气管分布于各器官组织的细胞间隙里，进行气体交换。



● 中华稻蝗外形。



● 中华稻蝗内部结构。

## 血液色泽呈黄绿色

昆虫的血液没有血红蛋白，因此没有供氧作用。血液颜色通常呈黄绿色，或透明无色。血液中含蛋白质、碳水化合物、脂肪与尿素。昆虫体液中的氯素含量很低，然而氨基酸含量却等于人类血液中含量的二十至三十倍。

昆虫以坚实的表皮建构外骨骼（exoskeleton）。在外骨骼内部周围附有主肌，以保持体形与完善结合身体各个部分。昆虫的飞翔肌特别发达，一个神经可支配好几块肌肉，能使翅快速摆动飞翔。



## 变态

昆虫的生命历程丰富多彩，从受精卵开始发育到成虫的阶段，躯体在形态与生理上会发生剧烈的变化，生物学家称这种现象为变态（metamorphosis）。

变态可以三种形式进行：

### 无变态

受精卵孵化后生长发育到成虫的过程中，躯体逐渐增大，然而各龄幼虫的形状变化并不明显，例如衣鱼（silverfish）。

### 不完全变态

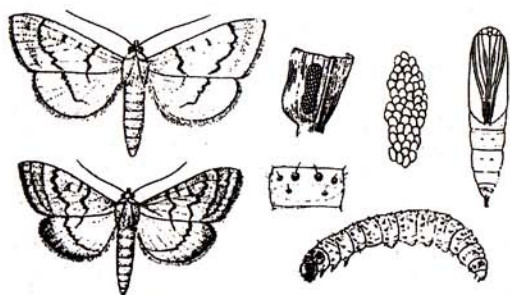
可以分为两种形式，即渐变态（gradual metamorphosis），幼虫与成虫形态相似，生活环境和活动方式一样，

只是幼虫体形较小，性器官尚未成熟，这类幼虫称为若虫（nymph）。翅膀在幼虫期只以翅芽（wing pads）的形态出现，需待变为成虫时才完全形成能飞翔的翅膀。蝗虫是渐变态的佳例。

另一种不完全变态称为半变态（partial metamorphosis），幼虫和成虫在形态上有很大的差异，栖息环境也不相同。这类幼虫称为稚虫，例如蜉蝣（mayflies）与蜻蜓（dragonfly），稚虫在水里生活，口器形状特别。变为成虫之后，才到陆地上生活。

### 完全变态

受精卵孵化后，需要经过幼虫（larva）和蛹（pupa）这两个阶段之后，始能发育为成虫。幼虫在形态与生活习性方面与成虫迥异。例如玉米螟与侵袭稻秆的螟虫，在幼虫期只能爬行蛀孔，钻入茎秆，然后藏身其中，嚼食茎内的组织，造成枯心苗与白穗。幼虫蜕皮数次之后，于稻根附近化蛹。在不食不动的蛹期，过去吸收的营养与累积的组织全部用来重新建构成虫的躯体。羽化之后的成虫有翅能飞翔，不能侵害作物，其生活环境和活动方式也与幼虫及蛹完全不同。



● 玉米螟的完全变态。

## 具蜕皮和变态本能

昆虫能够蜕皮和变态，是因为昆虫幼体的脑神经，能分泌一种脑激素（brain hormone）。这种激素能刺激昆虫的前胸腺（prothorax glands）产生蜕皮激素（ecdysone）。蜕皮激素的作用是促进昆虫通过蜕皮发育成长，变态成蛹，最后羽化为成虫。

昆虫的脑激素释放到血液里，也促使昆虫脑后部称为咽侧体（corpora allata）的腺体产生保幼激素（juvenile hormone）。这种激素能延长昆虫幼体发育的生长期，并使昆虫继续保持幼虫或若虫的特征。保幼激素对雌虫卵巢的成长扮演重要的角色。昆虫必须依靠保幼激素与蜕皮激素的共同作用来进行正常蜕皮（molting）。

许多昆虫在成长过程中若遇逆境，例如严寒或亢旱；其生理活动会暂时停滞，生殖器官延迟成熟，这种现象称为滞育（diapause）。滞育期的昆虫需待逆境消失后才恢复正常发育成长。有些蛾类的幼虫，在夏末时结茧成蛹，开始滞育。若将蛹冷冻于3℃至5℃长达六星期，再重置于正常室温的环境中，蛹会重新活动，然后羽化为成虫。若结茧后不冷冻，蛹将在正常室温环境中持续滞育六个月至一年之久。滞育的原因跟神经分泌的滞育激素和外界温度有密切关系。因此养蚕的农民常以低温处理来消除滞育激素的作用，可以增加每年养蚕的代数，提升总产丝量。

有的昆虫生殖力奇高，而且能够进行单性生殖（parthenogenesis，亦称孤雌生殖）。换言之，卵子无需受精作用亦能发育成虫。这种有雌无雄也能产卵及孵成幼虫的现

象，俗称为“处女生殖”。由于单性生殖的虫卵属于二倍体，也就是说，以这种方式繁殖的后代，其遗传特征与母体完全一样，是不折不扣的自我复制或“克隆”（cloning）自己。例如蚜虫，可分为有翅、无翅和有性和无性等类。有翅、无翅都是雌性，可以自由飞往各种作物的枝叶间，以口器刺吸汁液，然后进行单性繁殖。无翅的蚜虫继续留在原处吸取养料，也同样以孤雌生殖方式繁衍后代。更令人惊讶的现象是，蚜虫、蚊子、寄生蜂具有性变能力，即雌虫能变性成为雄虫，雄虫也能转化为雌虫。有的未受精卵能够分裂，并且发育成多个幼虫，这种称为多胚生殖（polyembryony）的能力，使害虫成为作物严重的威胁。

## 害虫破坏农村经济

在人类发展史中，有害的昆虫对农村经济的破坏最令人不寒而栗。中国古代多次大饥荒的出现，都与蝗虫有关。非洲于1980和90年代的大饥荒，除了连年亢旱与内战，蝗虫对作物的蹂躏也是其中一个主要的原因。单单1986年，非洲大陆就有十多个国家受到蝗虫侵袭。蝗虫过境时，蝗群覆盖的面积可达二十多平方公里，一个蝗群中有超过十亿只蝗虫。由于蝗虫密度很高，过境时地面会突然天昏地暗。虫声轰鸣。蝗虫能持续飞行十七个小时，在二十四小时之内跨越180公里，不仅能在短短的时间里将数公顷的庄稼啃食殆尽，甚至芦苇和树木都受到扫荡，片叶不存。

稻田里的褐飞虱也能作远距离迁飞。中国科学家曾展开

海面捕捉、飞机航捕、高山网捕和标记回收等试验，大量资料一致证明，中国在春夏季时，褐飞虱主要由南方与西南方迁入稻田，秋季时虫源则主要来自北方与东北的方向。根据中国农业科学院主编的《中国稻作学》记载，江苏省褐飞虱协作组的观察显示：褐飞虱在起飞前即停止取食，并自稻丛基部向上爬行，静伏于叶梢待飞。大量迁飞时间一般在日出前和日落后。起飞时褐飞虱猛然蹬动足部，迅速向上空飞翔，随暖湿气流迁飞。大量迁飞的运行高度，夏季在距地面300至2500米之间，秋季距地面300至1000米之间，飞行中雌雄同群聚集。

褐飞虱的雌虫在迁飞过程中具有滞育现象。卵巢发育停滞。起飞时体内含水量低，脂肪含量高，翅的负荷小，能源充足。降落后，卵巢又继续发育，并快速交配产卵。卵巢的发育和飞行，主要受体内的保幼激素所控制。褐飞虱的成虫有耐饥力，能在无食物情况之下存活三至九天。

## 综合防治效果最佳

农作物害虫种类繁多，农民一般采用的防治方法包括：

- 农业防治：通过轮作、耕耘、灌溉和排水等农事操作，使农田生态不利害虫繁殖。
- 化学防治：盲目施用合成杀虫剂，不能全面消灭害虫。为了增强防治的效益，施药时必须根据预测和预报，以高效低毒农药来治虫。此外，化学防治也必须考虑害虫的食性与其他环境因素，才能达到事半功倍的效果。
- 生物防治：利用害虫的天敌，例如蜘蛛、线虫、病原菌、寄

生蜂、瓢虫、黑蚂蚁等，能对虫害的大暴发产生强劲的控制作用。

以上任何一种防治措施都有局限性，因此唯有通过综合防治，将各种防治方法合理协调运用，相辅相成，以臻最佳的防治效果。综合防治强调研究害虫和农业生态系统中各个组合成分之间的动态关系，并将防治重点集中于对害虫种群发展最能发挥抑制作用的环节，避免破坏自然生态平衡，浪费大量资财，导致弄巧反拙，顾此失彼，甚至引发生态危机。

防治害虫的同时，美国生物学家温伯格的话值得我们深思：“自然界最了解如何保持生态平衡，因此保护生态系统最好的方法，往往是听其自然。”



## 捕食害虫的蜘蛛

伊斯兰教先知穆罕默德的传记里，记载了一则与蜘蛛有关的神奇传说：先知在麦加传教布道，引起了当地统治者的惊恐、敌视、嘲讽和污辱，并且拒绝他的教义。由于麦地那人愿意接受他作为传道者，先知于是决定离开麦加，迁徙到麦地那发展。为了不引起敌人的注意，他和随从阿布伯克尔在夜晚行动，向南奔往距麦加10公里的萨尔山，在一个山洞里躲藏了三天。这期间他的信徒给他传送食物和羊奶。当麦加人发现先知失去踪影之后，开始漫山遍野搜查。先知匿藏的山洞外有一只蜘蛛，辛勤地在洞口编织了一面密网，封住了洞口，分散了敌人的注意力，让先知脱险，安然抵达麦地那，为伊斯兰教开创了一个崭新的局面。这次的迁徙（hijrah），标志着伊斯兰教迈入一个新纪元。

### 蜘蛛分布范围广泛

动物学家法布尔写过一则有关蜘蛛的童话：昆虫世界里的蜜蜂、蝴蝶、蚂蚁、蚱蜢、螳螂等举办一项全球昆虫运动会，蜘蛛兴致勃勃的赶来参加竞赛，然而在报名时却被昆虫驱赶出来，原因是蜘蛛有八只脚，比昆虫多了两只，允许蜘蛛参赛对

所有六只脚的昆虫不公平！

蜘蛛和昆虫都属节肢动物门。节肢动物的身体两侧对称和分节，每个体节又有分节的附肢。根据身体分节的特点、附肢的数目和构造，以及呼吸器官的结构，节肢动物门又分类成昆虫纲、蛛形纲、甲壳纲和多足纲。

蜘蛛分布的范围广泛，世界各地的园林里都有蜘蛛的踪影。有的蜘蛛喜于室外环境活动，有的却长期留连于人类的居所。有的蜘蛛惯于在池塘、湖泊上觅食，有的却能够在炎热的沙漠里，匿藏于深邃的地穴中避暑。有的蜘蛛在进化过程中高度适应严寒气候，甚至在喜马拉雅山海拔6000米的山区，仍然能够生存、繁衍。

根据动物分类学，蜘蛛属于蛛形纲内的蜘蛛目（Order Araneae），全球已知约四万种。一般生物学家估计，这个数目仅占全部蜘蛛种类的四分之一。

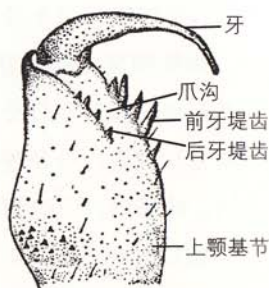
蜘蛛最显著的特征是体躯分头胸部和腹部两部分。

蜘蛛的头胸部没有触角和复眼，因此全凭单眼视物。单眼是仅含单一小平面的视觉器官，受到灯光照射时明亮耀眼，极易辨认。单眼的数目通常是八只，只有少数蜘蛛拥有六只或四只眼。单眼全部排列于头胸部的前端，一般列成两行，每行四只眼。

## 利用毒液杀死猎物

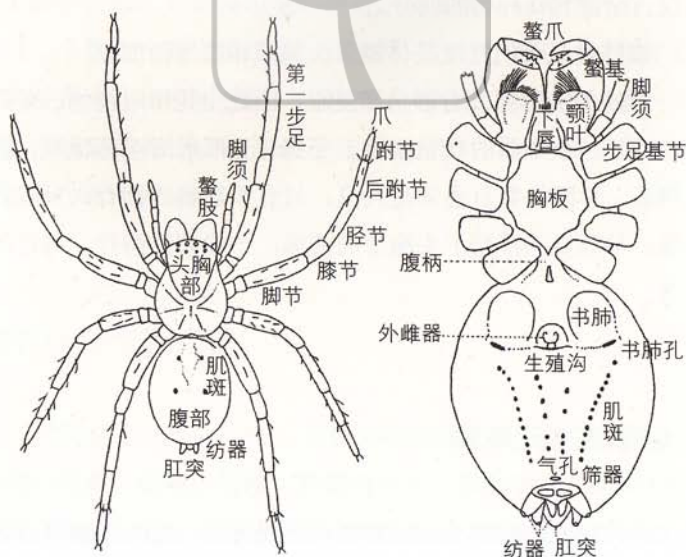
两行单眼之后的头胸部背面有硬块覆盖，称为头胸甲或背甲（carapace）。头胸甲上的凹陷称颈沟，一般认为颈沟之前

属于头部。口器除了上唇和下唇之外，还有一对上颚（jaw），称为螯肢（chelicerae）。螯肢的基节壮硕，顶节呈爪状，称为尖牙。尖牙前端附近有一毒腺开孔，能排出毒液。蜘蛛凭借螯肢捕捉猎物，然后以毒液将猎物麻醉杀死，再分泌大量唾液，将食物分解后才吞噬。此外，螯肢的基节上有齿，能将猎物压碎，方便消化液将食物分解。通常蜘蛛先将食物化为液汁，然后借胃部强大的唧筒作用将液汁吮吸。昆虫若被蜘蛛捕食后，往往外骨骼完整，内腔却完全空洞。



● 蜘蛛的螯肢。

位于口腔左右两侧的一对附肢，称为须肢，亦称脚须或触肢（pedipalps）。须肢共有六节，具有触觉和嗅觉功能，同时



● 蜘蛛的背面。

● 蜘蛛的腹面。

能帮助蜘蛛取食。幼蛛和雌蛛的须肢纤长如足，雄蛛的须肢却膨大成棒状或球状，是交配时重要的辅助器官，能将输精管末端的生殖孔排出的精液贮存，以待交配时通过雌蛛的生殖孔移精入受精囊，完成传宗接代的任务。

蜘蛛的头胸部有八只节足，全部有毛。足的末端有爪。通常第一与第二对足伸向前方，第三和第四对足伸向后方，只有少数蜘蛛的四对足都横伸于体躯的两侧。



♂ 雄蛛的触肢。



♀ 雌蛛的内部结构。

## 蛛丝具有莫大功能

蜘蛛的腹部一般呈椭圆形、卵形或圆球形，绝大部分蛛腹均不分节。腹部相对柔软且有伸缩性。腹有书肺，由一系列书页状的片层结构组合而成。蜘蛛通过腹部的肌肉活动，将空气

吸入和呼出书肺腔。除用书肺外，蜘蛛也以气管呼吸。

纺绩突（spinners或spinnerets）又称纺织突或纺器，是蜘蛛所特有的纺丝器官，通常有三对，与腹部内的纺织腺（spinning glands或silk glands）相通。纺织腺能分泌一种称为类纤维蛋白（fibrion）的物质，在空气中凝固成丝。蛛丝具有捕虫、产卵、贮精、交配、防御、扩散和飞航等作用。小蜘蛛在飞航前爬行至高树枝头，翻筋斗而下，然后从纺织突喷出一团飘浮丝，在风中盘绕，呈汽球状，可飘至遥远之处，这种飞航方式称为气球作用（ballooning）。在低约数米到高达800米的空中皆可捕获利用气球作用飞航的蜘蛛。一般蛛丝比所有动植物的丝都细，而且具有很坚韧的抗张力与弹性。中国的西双版纳森林中有一种圆蛛，结成的网能粘住小鸟。

蜘蛛雌雄异体，交配前成熟的雄蛛先结小网，将位于腹部的生殖孔分泌出来的精液滴落或喷射于精网（sperm web）上，再吸入须肢前端交配器的贮精囊里，加以贮藏。当雄蛛与雌蛛交配对，雄蛛以须肢塞进雌蛛的生殖孔，移入精子来完成受精作用。

## 求偶过程鲁莽别致

蜘蛛的求偶过程既鲁莽又别致。有一种蟹蛛（crab spider），行为与登徒子无异，它匿身于隐蔽的角落，等待同类的雌蛛经过时，突然冲出来，以八只脚将雌蛛紧紧拥抱，然后吐出粗糙的蛛丝将俘虏捆绑。交配完毕之后窜逃而去，任由雌蛛独个儿挣扎松绑。

有些蜘蛛则彬彬有礼，例如雄狼蛛（wolf spider）与雌蛛相遇时，先像绅士一样潇洒地挥动须肢打招呼，对方作出积极的回应始敢鼓起勇气趋前示爱。



● 蜘蛛的头胸部没有触角和复眼，只凭单眼视物。

有一种结网型蜘蛛（European nursery web spider），在求偶前先捕捉一只飞蝇，以蛛丝将猎物扎妥，殷勤地奉献给心仪的雌蛛。当爱侣接受它的献礼而开始进食的当儿，雄蛛才前去与雌蛛交欢。

雄黑寡妇（*Latrodectus*, black widow）体型很小，只等于雌蛛的四分之一。雌蛛天性冷酷，与雄蛛交配后，便立即毒杀雄蛛，并将它吃掉。因此，在黑寡妇出没的南美洲，雄蛛难得一见。

雌蜘蛛交配后，产卵于卵袋中。每个卵袋内的卵因种类而异。有的蜘蛛只产一个卵袋，卵的数目可高达千颗；有的蜘蛛能同时产数个卵袋，每个卵袋皆由蛛丝编织而成。

蜘蛛的发育与昆虫不同，生命历程无需通过变态来完成。蜘蛛的一生经过卵期、幼蛛期和成蛛期等三个阶段。从孵化到成蛛，通常经过四至六次蜕皮。雄蛛体型较小成熟较早，因此蜕皮次数较少，一般介于二至八次，而雌蛛高达六至十二次。蜕皮对幼蛛而言有很大的风险，幼蛛可能因为延迟从旧皮脱身而出，结果受到风干脱水而死。此外，幼蛛在蜕皮过程中，也会因为天敌到来捕食无法快速逃跑而丧命。

## 大马稻田常见蜘蛛

日本科学家在20世纪70年代已深入研究七十余种生活于稻田的蜘蛛。中国浙江省于1970年代末的初步调查，发现了十五科八十余种稻田蜘蛛。在马来西亚的水田里，常见的是拟环狼蛛、金蛛、蠨蛸、猫蛛和跳蛛。

### 拟环狼蛛 (*Lycosa pseudoannulata*, wolf spider)

拟环狼蛛的别名是稻田狼蛛，为徘徊性的活跃游猎者，通常在稻田的田埂、沟边以及稻丛间活动，具有潜水能力。

雌蛛体长约10至12毫米，雄蛛较小，一般少过8毫米。体色灰褐，眼区黑褐，背甲有黄褐叉形斑纹，腹部上有黄白色斑点。八只节足粗长有毛，能跳善走，行动敏捷。

雄蛛交配后，常被雌蛛咬死吃掉。雌蛛交配一次，贮存于受精囊内的精子，足以令以后产下的多个卵囊都含有效卵。每个卵囊内有大约八十至九十粒卵。雌成蛛一般寿命约三至四个月，所产总卵数介于二百至四百粒，其中约六十至八十粒能孵化为幼蛛。孵化后的幼蛛，集中爬到母蛛腹部背面，群聚约五天，才离开母亲独立生活。

幼蛛蜕皮六至七次后，变为成蛛。狼蛛具有很强的生命力，在只供应水分，不给食料的情况下，仍能存活二十九至七十天。



● 拟环狼蛛背部群聚着刚孵化的幼蛛。

### 金蛛 (*Argiope catenulata*)

金蛛体色鲜艳美丽，因此有“流火”的别名。雌蛛体长约20毫米，雄蛛只有7毫米左右。雌蛛腹部黑色，有黄与灰白色斑纹，雄蛛体色赤褐。

金蛛善于织网，常在稻丛中张挂车轮状的大圆网，网中有锯齿状的白色丝带，有物触网，丝带即颤动。震动沿着丝带的通讯线传到金蛛步足上的感应分析器，金蛛获得讯息后，就能准确地爬向目标。

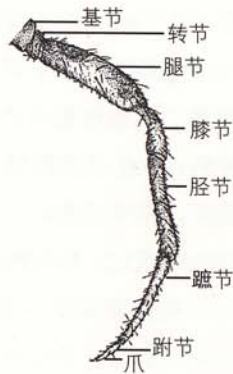
天气炎热时，雌雄成蛛会躲在轮网旁的稻叶下守候，若天气阴凉多云，雌成蛛会坐镇于网中央，而雄成蛛则在网的边沿等待猎物到来。

雌成蛛可活二至三个月，一生产卵总数约六百至八百粒。

### 长颚蟞 ( *Tetragnatha maxillosa*, long-jawed spider )

蟞是一种长脚蜘蛛，常在水稻植株上部结环状网。天气晴朗时，常于中午时分隐蔽于蛛网附近的稻叶背面。静止时前端四只步足向前伸，后面四只步足向后直伸，与细长的身体成一直线。蟞的腿节有听毛，因此当猎物撞网时，蛛网虽然不及金蛛编织的网坚韧，却能快速通过听毛准确测出猎物的位置而将其擒牢。

蟞的螯肢长而发达，螯肢的长度几乎与头胸部的长度相等。雌成蛛一般的存活期为一至三个月，总产卵量为一百至二百粒。卵产于水稻叶片上部的正面。卵粒白色圆形。卵集中于卵囊内，上面覆盖着一层白色蛛丝。



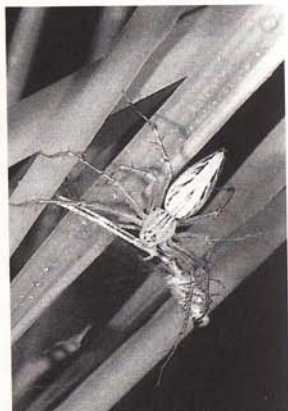
● 蜘蛛的步足。

### 猫蛛 (*Oxyopes lineatipes*, lynx spider)

猫蛛与狼蛛一样，不结网，常游猎于草丛和稻丛之间。雌猫蛛体长约8毫米，雄蛛稍为短小。额头很高，前缘垂直，八只眼均黑色，排列成四行，每行两只眼。

猫蛛腹面正中有两条呈V形的赤褐色条纹，条纹的中部色淡，分布着一些微细黑褐斑点。V形条纹左右两边有白纵纹。腹部末端渐窄，密披鳞毛。步足上有长而直的刺，足端有三爪。雄蛛有膨大的须肢。雌猫蛛能存活三至五个月，一生能产二百至三百五十卵。卵囊成茧状，产于稻叶上。产卵后的雌蛛守伏在卵囊上。刚孵化与刚蜕皮的幼蛛一般嫩绿色。

猫蛛常隐身稻丛，静候飞蛾前来时作近距离腾跃突击。

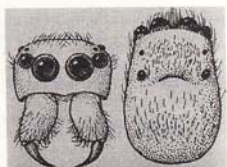


● 捕食蜻蜓的猫蛛。

### 跳蛛 (Jumping spider, family Salticidae)

跳蛛属于中小型蜘蛛，体长一般小于9毫米，体粗壮略扁。眼黑色，共八只，其中两只眼大而突，形如车灯。足粗短健壮，第一对步足特别发达，足的末端有爪。

跳蛛不结网，徘徊田间捕食害虫。房间内外墙上的跳蛛，例如蝇虎，善于捕食苍蝇，是防治害虫的天然助手。



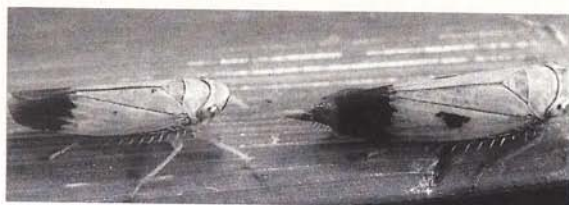
● 上为跳蛛的单眼，下为跳蛛的真面目。

水田的病虫害是威胁稻作生产的主要障碍。为了贯彻预防为主，综合防治的植物保护概念，近年来以天敌为主的生物防治策略已越来越受到重视。生物防治是由史密斯（H. S. Smith）于1948年最先提出，其定义是：“通过捕食性、寄生性天敌的引入，增殖和散放来压制害虫”，蜘蛛是水田里重要的捕食性天敌，能大量捕食害虫，确保作物正常成长。中国人对蜘蛛的贡献早已有所了解。农谚中有一句“蛛网多，谷满箩”就是最好的例子。

## 田间蜘蛛密度很大

根据中国科学家的研究，稻田蜘蛛的主要种类虽然不多，但田间蜘蛛的密度却很大。浙江省的田间调查显示：在比较合理使用化学农药的情况下，早稻和晚稻中期和后期田间蜘蛛每亩的密度均在十万只左右（每公顷一百五十万只），几乎占稻田中捕食性天敌总量的半数。

水田里的蜘蛛能吃多种害虫，食虫能力强，同时又不受灯光诱杀的影响，优点很多。例如拟环狼蛛，平均每天捕食黑尾叶蝉（green leafhoppers）六至七头。极度饥饿时，一只母蛛一天能吃十五头。螞蛄张网捕虫，能每日捕食褐飞虱五头左右。



④ 黑尾叶蝉。

在马来西亚的主要稻产区里，由于直播法（direct seeding）几乎完全取代了传统的插秧法（transplanting），谷种使用量高（每公顷100至150公斤），造成植株密度大，温度和湿度高，田间稻丛不通风，容易引起病虫害的大暴发，农民施用化学农药的次数与用量也相对提高，因此构成了影响蜘蛛生存的不利因素。

为适应现代可持续农业生产发展的需要，保护蜘蛛与其他天敌的综合防治管理应着重以下诸项措施：

- 合理使用化学农药，减少使用对蜘蛛杀伤力强大的有机氯农药，选用内吸性杀虫剂（systemic action pesticide）如cartap hydrochloride等对蜘蛛影响小的农药，可保护蜘蛛和其他天敌。
- 帮助蜘蛛迁逃，减少耕作造成的伤亡。拖拉机在翻耕过程中，约90%的蜘蛛被杀死。在不灌水情况下干耕干耙，对蜘蛛的伤害较小。灌水后放置稻草于田中，可助蜘蛛逃亡。灌水后隔一段时间才进行翻耕，也能增加蜘蛛向外迁逃的机会。保护田里的蜘蛛，对维持农田生态平衡有很大的帮助。

## 化学信息素的特殊功能

人类和其他生物的根本区别，在于人类具有思维的能力。人类除了懂得利用声音和肢体语言来表情达意之外，还通过思维创造了符号和文字来传递信息。许多在进化历程中处于较低层次的生物，虽然没有声带和发音器官，而且长年累月生存于无声无息的幽暗环境中，却仍旧能够非常精确地将信息在种群间互传。例如成千成万的蚂蚁会从四面八方倾巢而出，齐聚于一处，如组织严密的军队，与另一群势均力敌的蚂蚁军团互相厮杀。究竟蚂蚁之间如何发出讯号来召唤同伴参与战役呢？

### 具挥发作用化合物

生物学家经过多年的观察与研究之后，发现许多生物除了利用声音和动作，还凭借化学物质作为通讯媒介来互相沟通。在大自然中，能够改变生物行为的化学物质，统称化学信息素（semiochemicals）。这类信息素都是具有挥发作用的化合物。只要极微量的化学信息素分泌出来，扩散于空气中，就能够随着气流的移动传至方圆数百米或甚至数千米内的目标生物，进行通讯联系，或促使对方作出反应。

马来西亚理科大学昆虫学教授陈景鸿博士（Professor Tan

Keng Hong) 在〈是害虫也是花粉传媒的果蝇〉这篇论文中阐释, 依据信息素形成与扩散的根源, 可以将能改变生物行为的化合物分为两大类:

### 生态信息素 (Ecomones)

自然释放于生态环境中的化学物质。

### 类生态信息素 (Para-ecomones)

并非自然释放于生态环境中的化学物质, 其中不少是人工合成的化合物或生物体内的组成分子。

能于同种生物之内引起作用的生态信息素被归类为外激素 (pheromone)。换言之, 外激素是由一个生物体分泌的肽类 (peptide, 即两个或两个以上的氨基酸以肽键连接的化合物), 经过释放后, 被另一个同类生物体接受, 从而引起一定的行为反应。

至于能在不同物种之间起作用的生态信息素, 一般都被归入种间化感物 (allelochemicals), 并且可以再分为以下四种:

### 异源信息素 (Allomone)

这种由生物个体自然接触时产生的信息素, 能导致释放这种化学物质的生物体受惠, 但却造成接受信息素的生物体, 在发育, 以及其他生理性状方面都出现不良反应, 并且受损。例如, 能吓止和驱除捕食者的化学物质。

### 种间信息素 (Kairomone)

这种来自异种群体的化学信息素，对接受信息者有益，然而释放信息者却从而受损。例如果实释放的气味，吸引雌果蝇到来产卵于果实之内，造成果实变质糜烂。



❶ 果蝇。

### 互利信息素 (Synomone)

释放出来的化学信息素，对释放者与接受者都有益处。例如花香吸引雄果蝇到来授粉。

### 腐物信息素 (Apneumone)

通过微生物将腐尸或腐烂物质分解之后释放出来的化学信息素，例如吸引绿头苍蝇 (blow fly) 到来觅食的腐肉。

## 化学信息素作用大

化学信息素的作用，常常令人叹为观止。例如属于鳞翅目的蝴蝶，能于同一时间从四面八方翩然飞来，准确无误地与千千万万只蝴蝶在同一个地点聚集。是谁通知这些蝴蝶，而信息又以何种方式传递呢？杨文翻与杨靖著的《六脚精灵》这本科普书里，就有一则关于蝴蝶聚会的美丽神话：在中国云南省的大理，有一位漂亮的姑娘与年轻的猎人相恋。然而，这段良缘却因为云南王觊觎姑娘的美色而波折重重。云南王为了满足

自己的欲望，强将两人折散，并将姑娘抢入宫中。猎人千方百计潜入王宫将爱人救出之后，竭力逃亡到无底潭边。由于陷入追兵的重重包围，无计可施，只好双双投入深潭殉情。他们死后化为彩蝶，永远形影不离。山野中的其他蝴蝶，深受这对恋人的深情感动，每年农历四月十五日不约而同纷纷飞来，凭吊这对忠贞的爱侣。

一部分昆虫学家认为，蝴蝶集体聚会是雌蝶分泌出特殊的性外激素（sex pheromone），吸引千千万万的雄蝶一起到来进行交配。实验显示：只需0.1微克的性外激素，就足以吸引数千米范围内上百万只的雄蝶纷纷到来。科学家发现，昆虫的触角除了具有触觉功能，可以探明物体的轮廓、形态和硬度之外，还具有神奇的嗅觉功能。蝴蝶的触角上分布着非常微细的化学受体（chemoreceptors），这些细胞大分子与散布于空气中的激素分子结合，能使细胞功能发生变化，将信息通过神经传递，并以集体行动来回应雌蝶的召唤。至于为何这种集会只在特定的日子与特定的地方进行，昆虫学家的解释是蝴蝶聚集的地方，由于气候与四周的生态环境非常特殊，其中一些植物只在一个特定的日子里受到环境因素影响，挥发出独一无二的香味，吸引蝶群到来采蜜授粉。这种互利信息素，对植物与蝴蝶的繁衍都异常重要。

## 蚂蚁寻食长途跋涉

蚂蚁为了寻找食物，往往需要爬行到离巢数百米外的地方。这些小昆虫如何能够迂回曲折地到处穿梭之后，依然正确

无误地返回原地，并且将找寻食物的路线图精准地传达给同一个蚁巢的伙伴呢？原来蚂蚁的肛门和腿上的腺体能分泌出追踪外激素（trail pheromone）。这种由蚂蚁释放的雾状小滴在蚁路上留下认路标记，因此，所有同巢的蚂蚁都能辨识这些利用外激素来标记的路线，并且能够沿着路线爬行而不会迷途。

昆虫学家为了证明追踪外激素的存在，从蚁巢中将一定数目的蚂蚁捕捉之后，在实验室中提取蚂蚁身上的追踪外激素，然后在蚁巢外的地面上，将追踪外激素涂成圆圈，然后再将巢内的蚂蚁捕捉出来，放在圆圈上。这些蚂蚁会沿着这个圆圈不断爬行，却始终无法回到附近的老巢去。

昆虫除了以外激素来进行集合、探路、觅食和求偶等活动之外，也常以化学信息素来向同类发出警报。当一只蜜蜂受到干扰或侵袭时，最常采取的防御动作就是以腹部末端的螫针自卫。螫针和体内的毒腺相通，并且带着倒刺，一经刺入往往难以拔除。强行拔出螫针将造成部分内脏也被拖拉而出，蜜蜂常常因此伤重而死。当蜜蜂以螫针还击的同时，也从腺体释放出一种示警外激素（alarm pheromone），附近的蜜蜂从空气中接收到这种高度挥发的化学信息素后，会即刻进入戒备状态以保持种群优势。

在野生马铃薯的植株上觅食的蚜虫，也具有同样的防御机制，常常于遭受侵扰时分泌示警外激素。附近的蚜虫接收到这种气态化学物时，迅速逃避到安全的地方匿藏。一些野生马铃薯为了生存，在进化过程中能利用叶片表面的茸毛产生类似蚜虫分泌的示警外激素。当蚜虫到来侵袭时，野生马铃薯叶即刻释放出仿制的示警外激素，将蚜虫吓退而免受侵害。

## 蜜蜂是社会性昆虫

蜜蜂是一种典型的社会性昆虫 (social insect)，蜂群由蜂后 (queen)、雄蜂 (males, 亦称drones) 以及工蜂 (workers) 组合而成。未受精卵孵化出的是雄蜂，除了和蜂后进行交配繁衍后代之外，不会采蜜，因此孵化后数周即被赶出蜂巢。受精卵可育成蜂后或工蜂，这个过程全凭喂哺的食物决定。先受蜂王浆 (royal jelly) 喂哺，后食花粉与蜜糖的幼蜂，将成长为工蜂；整个幼蜂期以蜂王浆为食的将变成蜂后。蜂后的上下颚内有唾液腺 (salivary glands)，能分泌出一种称为蜂后外激素 (queen pheromone) 的化学信息素。蜂后外激素具有数种非常特殊的功能，其中之一是抑制工蜂的卵巢发育，使其丧失生育能力。此外，蜂后外激素能将工蜂引向蜂后，并且主动自觉地殷勤服侍这个好逸恶劳的女王，例如轮流以最富营养的食物献上；为蜂后打扫产卵的蜂房；在天气闷热时振动翅膀，为蜂后提供空调服务。

蜂后外激素在繁殖季节，能吸引雄蜂成群结队到来，争先恐后地追逐蜂后，在高空中进行交配。



● 蜂群中的三种蜜蜂。



● 蜂王在产卵。



● 工蜂在饲喂蜂王王浆。

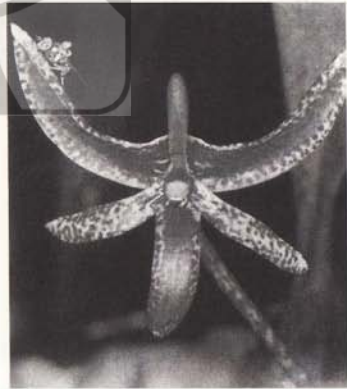


● 蜜蜂的螫针。

蜂后的唾液中保留的外激素，即使在蜂后死亡之后仍能发挥作用，甚至曾经碰触蜂后碎裂尸体的土壤，也能吸引工蜂群集其上，历久不散。

### 野生兰分泌甲基丁子香酚 (methyl eugenol)

在自然界中，多种植物能产生甲基丁子香酚吸引昆虫到来传粉，同时将这种芳香化学物转化为性外激素以增强繁殖能力。马来西亚理工大学的陈景鸿教授经过多年深入的研究，发现一种野生的胡姬：石豆兰 (*Bulbophyllum cheiri* 或 fruit fly orchid)，能于马来西亚的平原热带雨林中分泌甲基丁子香酚，吸引大群的雄果蝇，包括 *Bactrocera carambolae*、*Bactrocera papayae* 和 *Bactrocera umbrosa* 到来，遍布于石豆兰的花卉上。当雄果蝇从花瓣与花萼中吸取甲基丁子香酚时，也让石豆兰的花粉团粘附于胸部上端，从而为石豆兰完成异花授粉。雄果蝇将吸取的甲基丁子香酚贮存于腹部的直肠腺



● 石豆兰。

体 (rectal gland)。在黄昏的交配期间，雄果蝇将甲基丁子香酚在代谢过程中制造出来的性外激素以烟状挥发。这些从直肠排出的代谢化学物的主要成分为 *trans-coniferyl alcohol* 和 *2-allyl-4,5-dimethoxy phenol*，具有吸引其他雄果蝇到来的聚集外激素

(aggregation pheromone)的作用,同时又能扮演吸引雌果蝇到来的性外激素角色。

由于昆虫的化学信息素能以极其微量的分子在个体之间达到信息传递作用,从而影响昆虫的生理功能与行为,科学家因此按照天然信息素的化学结构,精心研制与开发出不少人工合成的类生态信息素,例如能够破坏与阻断昆虫取食行为的合成抗食剂,以及令昆虫远离、迁移的合成驱逐剂,为害虫防治技术与策略增添新方案。由于性外激素具有高超的灵敏度、强大的专一性,简易的施用方法,以及低廉的操作成本,许多国家已广泛应用性外激素于害虫监测和防治管理等工作中。根据陈文龙著的《作物害虫综合防治》的报导,中国科学院上海昆虫研究所在吉林省使用大量设置含性外激素的诱捕器,大量捕捉雄虫,在防治杨树透翅蛾的科研中取得令人满意的效果。由于这种诱捕方法能捕获80%至90%的雄虫,导致雌雄比例严重失调,造成雌蛾交配机率遽降,使下一代虫口密度下降95%。

## 研发信息素达四十年

化学信息素的研发工作,经历了将近四十年不断的努力和推进,已取获累累硕果;但是从商业拓展的角度来衡量,其进展其实相对缓慢。根据英国科学家欧文·琼斯(Owen T. Jones)等的估计,全球于1995年的化学信息素销售总值约7千万至8千万美元。若与全球同一年度杀虫剂市场所臻至的80亿美元销售总值相比,化学信息素仅占这类化学物品市场的1%。

在技术推广方面，小面积的诱捕效果不佳，原因是周围的作物因为没有采用性外激素而无法全面干扰昆虫交配产卵。为了克服上述问题，大面积巨量诱捕计划曾被提出来讨论，并于多个地区内推行。其中成功的例子包括在西班牙2500公顷的水田里控制二化螟（*Chilo suppressalis*）的侵害，以及在埃及成功防治红棉铃虫（pink bollworm），使25万公顷棉花免受破坏。

经过对实践经验进行了分析与归纳，许多大面积诱捕计划之所以失败，皆因以下四大难题无法解决而造成：

- 诱捕剂中的性外激素对雌虫缺乏引诱力。
- 缺乏高效率的诱捕器。
- 虫口过高以致诱捕器很快达到饱和点。
- 增加单位面积诱捕器的数目使运作成本过高。

继续研发低成本高效率的昆虫信息素与诱捕器，或以聚集外激素与农药完善混合喷洒于作物上，尽量减低施用的成本，提高新技术的经济效益，将能大大提升害虫综合防治的效果。

## 主要参考文献

1. 刘凌云、郑光美主编《普通动物学》，北京高等教育出版社，1997年。
2. 吴国芳、冯志坚、马炜梁、周秀佳、邬奎昌、胡人亮、王策箴、李茹光编著《植物学》，北京高等教育出版社，1992年。
3. 周云龙主编《植物生物学》，北京高等教育出版社，1999年。
4. 丁锦华、苏建亚主编《农业昆虫学》，北京农业出版社，2002年。
5. 靳德明、彭卫东、史红梅、王慧、李彬编写《现代生物学基础》，北京高等教育出版社，2000年。
6. 何俊华、陈樟福、徐加生主编《浙江省水稻害虫天敌图册》，浙江科学技术出版社，1979年。
7. 刘荣东编著《第二次绿色革命——21世纪的农业》，北京科学技术文献出版社，1995年。
8. 任淑仙主编《无脊椎动物学》，北京大学出版社，1991年。
9. 黄宗道编著《天堂的种子——热带作物》，中国清华大学出版社与暨南大学出版社，2000年。
10. 姚纪高编著《一肚子好菌：维护身体健康的关键》，北京科学出版社，2003年。
11. 洪亮吉、吕理燊著《台湾农地杂草》，中华民国杂草学会，1980年。
12. 杜金池、蔡财旺、简锦忠、蔡武雄、张义璋编辑《稻作病虫害发生预测专辑：稻热病》，台湾行政院农业委员会农业试验所特刊第30号，1990年11月。
13. 曾麒麟主编《神秘自然奇观》，台湾人类智库出版集团，2006年。
14. 赵功名著《遗传的概念》，北京社会科学出版社，1996年。

- 年。
15. 王馥棠、赵宗慈、王石立、刘文泉编著《气候变化对农业生态的影响》，北京气象出版社，2003年。
  16. 张光远、林俊卿编译《睡莲》，台北淑馨出版社，1986年。
  17. Andrew, R. W., Jackson, J. M., 1996. *Environmental Science: The Natural Environment and Human Impact*. Essex: Longman Group Ltd. 370p.
  18. Cox, G. W., 1997. *Conservation Biology: Concepts and Applications*. Iowa: Wm. C. Brown Publishers. 362p.
  19. Dnyansagar, V. R., 1986. *Cytology and Genetics*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd. 404p.
  20. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, 1977. *The Rice Brown Plant Hopper*. Taipei: FFTC. 258p.
  21. Henderson, M. R., 1954. *Malayan Wild Flowers, Monocotyledons*. Kuala Lumpur: The Malayan Nature Society. 357p.
  22. Henderson, M. R., 1974. *Malayan Wild Flowers, Dicotyledons*. Kuala Lumpur: The Malayan Nature Society. 478p.
  23. Holttum, R. E., 1954. *Plant Life in Malaya*. Kuala Lumpur: Longman Group Ltd. 254p.
  24. Kormondy, E. J., 1974. *Concept of Ecology*. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Ltd. 209p.
  25. Labrada, R., Caseley, J. C., Parker, C. (eds.), 1994. *Weed Management for Developing Countries*. FAO of the United Nations. 384p.
  26. Mercado, B. I., 1979. *Introduction to Weed Science*. Laguna: Southeast Asian Regional Center for Graduate Studies and Research in Agriculture. 292p.
  27. Tan, K. H. (eds.), 2000. *Area-wide Control of Fruit Flies and Other Insect Pests*. Penang: Universiti Sains Malaysia. 782p.



千秋  
自然

- |    |          |        |         |
|----|----------|--------|---------|
| 01 | 马来半岛山岳经典 | 朱海波    | RM20.00 |
| 02 | 陈兰芝的自然对话 | 陈兰芝    | RM18.00 |
| 03 | 高玉梅的绿色笔记 | 高玉梅    | RM18.00 |
| 04 | 含泪为大地抚伤  | 田思、何乃健 | RM16.00 |
| 05 | 转基因，转乾坤  | 何乃健    | RM16.00 |
| 06 | 水稻与农业生态  | 何乃健    | RM24.00 |
| 07 | 窥探大自然    | 何乃健    | RM20.00 |





- ◎有的蜘蛛喜于室外环境活动，有的却长期留连于人类的居所。有的蜘蛛惯于在池塘、湖泊上觅食，有的却能够在炎热的沙漠里，匿藏于深邃的地穴中避暑。



- ◎光照的强度能影响植物与动物的生长和发育。光能促进植物细胞增大、分裂和分化，改善果实品质。光也能影响动物的行为方式，如生物钟的运作、动物回游与迁飞。



- ◎水生植物的叶绿体不仅分布在叶肉的薄壁细胞中，还广布于表皮细胞，并且能随原生质的流动而迁移至向光的位置，尽量利用水中微弱的光照来制造碳水化合物。



- ◎蜻蜓的幼虫和成虫在形态上有很大的差异，栖息环境也不相同。蜻蜓的幼虫称为稚虫，稚虫在水里生活，口器形状特别。变为成虫之后，才到陆地上生活。

ISBN 978-983-3941-20-9



9 789833 941209

RM 20