

千秋

自然



何乃健

水稻

与农业生态

Rice And The Agroecosystem

东南亚第一本水稻种植华文书。配合联合国宣布2004年为水稻年出版，献给世界稻农、研究与推广工作者。



何乃健

祖籍广东顺德，1946年生于泰国曼谷，1953年移居檳城，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，曾任职于吉打州的慕达农业发展局（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学论文，大部分在国内与国外的研讨会中宣读。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。

曾获三次文学奖，即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），以及第七届文学奖中的翻译奖（1985年）。

著有科普书《转基因·转乾坤》；诗集《碎叶》、《流萤纷飞》、《裁风剪雨》、《双子叶》；散文集《那年的草色》、《淅沥的檐雨》、《稻花香里说丰年》、《禅在蝉声里》、《逆风的向阳花》；合集《含泪为大地抚伤》、《惊起一滩鸥鹭》，以及评论集《荷塘中的莲瓣》。

千秋

自然系列 06

水稻 与农业生态

Rice And The Agroecosystem

何乃健 著

大將出版社

何乃健 敬
2012年7月26日

千秋
自然
06

大将出版品第194种

水稻与农业生态

作者：何乃健
主编：徐婉君
编辑：刘艺婉
助编：苏淑萍
封面设计：刘民杰
校对：何乃健
图照提供：国际水稻研究所（IRRI）

社长：傅承得
发行人：傅兴汉
创意顾问：游川
法律顾问：吴汉强、王瑞隆律师
业务副理：侯秋云、何宗元
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)
4, Jalan Panggong, 50000 K.L., Malaysia.
Tel:03-20266288 Fax:03-20266266
E-mail: mentorpoh@pd.jaring.my
web site: mentor.com.my

印刷：佳印贸易公司
第1版第1刷：2004年4月15日
定价：RM24.00
著作权所有·侵害必究

国际书号：ISBN 983-3098-01-0

图书分类：

Perpustakaan Negara Malaysia Cataloguing-in-Publication Data
Ho, Nai Kin, 1946-

[Shui dao yu nong ye sheng tai]

水稻与农业生态／何乃健著

（千秋自然：06）

ISBN 983-3098-01-0

1. Rice-Planting. 2. Rice-Diseases and pests.

I. Title. II. Series: Qian qiu zi ran; 06.

833.18

本书如有缺页、破坏、装订错误，请寄回本公司调换。

自序

粒粒皆辛苦

锄禾日当午，汗滴禾下土；谁知盘中餐，粒粒皆辛苦。

唐·李绅

我出生于泰国的曼谷。父亲经营土产与出入口生意。由于公司的仓库坐落于壮阔的湄南河畔，因此小时候就常看见河上的舢舨，运载著一包一包的白米，从乡下到来泊岸。当年曼谷的市郊，处处是纵横的运河，稻田一望无际。那些随风起伏的禾浪与收获之後四处燃烧的燭火，深深地嵌入我童年的回忆中，令我毕生难忘。

七岁移居檳城之後，小学阶段里很少有机会看见稻田。初中时随童军团徒步环游檳岛，在西部的水田附近扎营，面对一串串腴美的稻穗，心里顿时遐想联翩。我在日记簿里涂鸦时，写下了多首以水稻为题的小诗，其中一首如下：

大地将旭阳撒下的万道金光

深深地在黑土里埋藏

趁稻穗成熟的时候

再把金光嵌在丰满的稻穗上

中学毕业後，我到马来亚大学读农科。大二年终考试

之後的长假里，我选择到吉打港口附近的水稻研究所实习。在短短四个月里，我向图书馆借阅了许多有关稻作学的书籍与研究报告，而且还做了笔记以备参考。我对稻作的高度适应能力感到惊讶，我也从稻作坚韧的生命力，联想起中华民族的刚毅。当年我曾在心中默祷，期盼以後能有机会深入研究水稻。

1972年大学毕业後，我留下来在农学院当了半年助教，就北上半岛西北端最大的水稻灌溉区，加入慕达农业发展局，参与组织农民协会，以及推广双季稻种植的农民培训工作。

1977年，马来西亚政府决定向世界银行贷款，进一步改善慕达区内的灌溉设施。我参与了可行性计划书的策划与书写工作。由于当年国家经济开始转型，工商业的快速发展导致农村劳力向城市外流。为了克服农村劳动力短缺的难题，稻农纷纷改变耕作法，以直播栽培取代育苗插秧的传统技术，水田生态于是出现了明显的变化。

1980年代吉北大平原面对历来少见的困厄：亢旱持续多月，水库的蓄水供不应求，水田里病害、虫害、草害和鼠害频频发生。我于是决定将注意力集中于有害生物的综

合防治工作，并且从宏观方向探索，希望多了解生态系统的千变万化，进而窥伺生物与水田这个综合体内，各种物质和能量交换的动态平衡。我欣慰当年获得可贵的机缘，与来自国际水稻研究所、联合国粮食及农业组织，以及日本国际农业科学研究中心的科学家一起在水田里进行研究工作。我尝试将心中对水稻的认知与深情，倾注于多篇散文中，并且将这些作品收入1994年出版的《稻花香里说丰年》，以及2001年出版的《惊起一滩鸥鹭》（与秦林合著）这两本散文集里。

多年来赤足走过千百亩稻田，对水田生态的深入观察与研究，都记录在我的笔记里，经过分析和整理成论文之后，大部分提呈到多个国内与国外的研讨会中宣读，多篇论文已被选入这些研究机构的论文集里。

我于2000年提早退休，并迈入一个崭新的领域，为私人企业推展大型水稻种植计划，也为一些国际机构编写稻作学的教材和进行翻译工作。我也参与了一项联合国在砂拉越州推行的生物多样性与可持续农业计划。在培训农民的过程中，我深深感受到许多稻农仍然非常缺乏对农业生态的基本知识，因此决定在《农牧世界》月刊的专栏“生

物新天地”里，将自己的浅见写下来与农民分享。我于2002年完成了第一个系列里有关生物技术的介绍，并将这些文章编辑成《转基因，转乾坤》这本科普书，交给大将出版社出版。至于第二个系列里浅介水稻的文章，也于2004年整理妥当，以《水稻与农业生态》为书名出版。

联合国已宣布2004年为国际水稻年(International Year of Rice 2004)，并以稻米即生命(Rice is Life)来突显水稻对人类的贡献。我谨以这本小小的科普读物，献给全世界的稻农，以及所有的水稻研究与推广工作者。我也在此重复多年前写的散文〈几粒白米饭〉中的一段，作为我对他们衷心的礼赞：

七千多年来，无数稻农流尽了可以汇成一池比海水更浓的汗水，才将汗里苦涩的盐，转化为细嚼白饭时，留在齿颊的香甜！

稿于2004年2月22日

目录

- 3 自序：粒粒皆辛苦
- 9 彩页：水稻生态与疾病
- 17 水稻的一生
- 33 珍惜土壤·尊重大地
- 39 气象对水稻的影响
- 45 回顾品种改良的漫漫长路
- 53 稻作的生态环境
- 61 水田里的草害与防治措施
- 67 窥探化学除草的奥秘
- 74 综合技术体系灭草法
- 82 风稻会引发生态危机
- 89 水稻的主要虫害与防治
- 97 稻纵卷叶螟并非严重害虫
- 105 水稻主要病害与防治

- 115 田鼠的威胁与防治措施
- 123 氮肥与作物栽培
- 131 磷肥与作物栽培
- 139 钾肥与作物栽培
- 146 钙、硫、镁和硅元素与作物栽培
- 154 微量元素与作物栽培
- 164 再生稻的培育
- 171 绿禾金穗迎煦阳
——浅介吉打州的水稻与农村发展
- 178 向 21 世纪奔腾的稻浪
——首届国际水稻大会侧记
- 186 名词解释
- 206 中外文主要参考文献



高地稻作生态系统



靠雨平原稻作生态系统
(亦称平原雨养稻作生态系统)



平原灌溉稻作生态系统



深水稻作生态系统



三化螟的
成虫与卵



长翅型（上）与短翅型
（下）的褐飞虱



纵卷叶螟



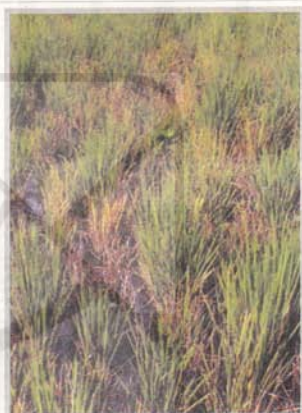
蓟马



缘蝽



田里结网的蜘蛛



东格鲁病



螟虫造成的白穗



螟虫造成的枯心苗



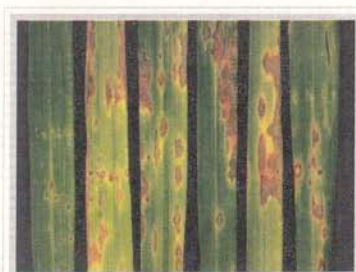
白叶枯病



稻纹枯病



稻纹枯病菌核



稻热病



水稻缺钾出现的黑褐锈斑



水稻缺硅，叶片柔弱下垂



水稻缺铁征状



水稻缺硫的征状



花生缺硫，幼叶最先黄化



水稻缺镁



木薯缺镁



水稻缺硼



包菜缺硼



水稻缺锌，叶片出现白色条纹



树胶缺钼



水稻缺磷，上部叶片呈现暗绿色



玉米缺磷，叶片呈紫红色



水稻缺锰



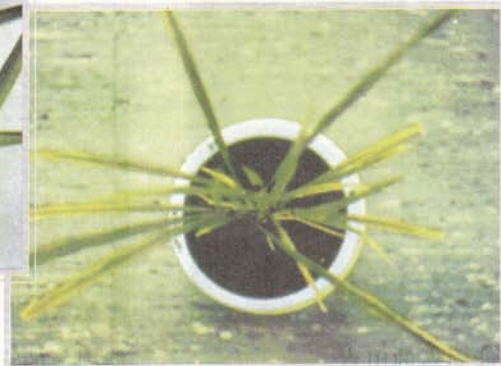
树胶缺锰



水稻缺氮肥

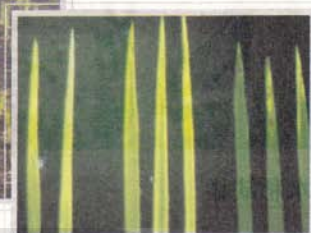


水稻缺钙





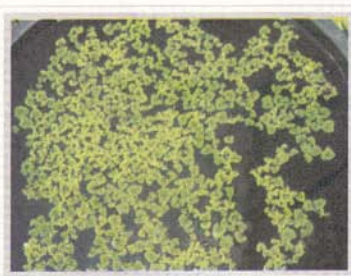
水稻缺铜



水稻的铁毒征状



能固氮的田青



能固氮的满江红

水稻的一生

唐朝诗人李绅写的五言绝句《悯农》里，有两行铿锵的诗句：“春种一粒粟，秋收万颗子”，形象精确地反映出水稻丰产的潜能。农民如果深入了解水稻的一生，细察从种子萌芽至新种子成熟的生命周期（life cycle），将更有把握提升栽培管理（crop management），达致高产优质的目的。

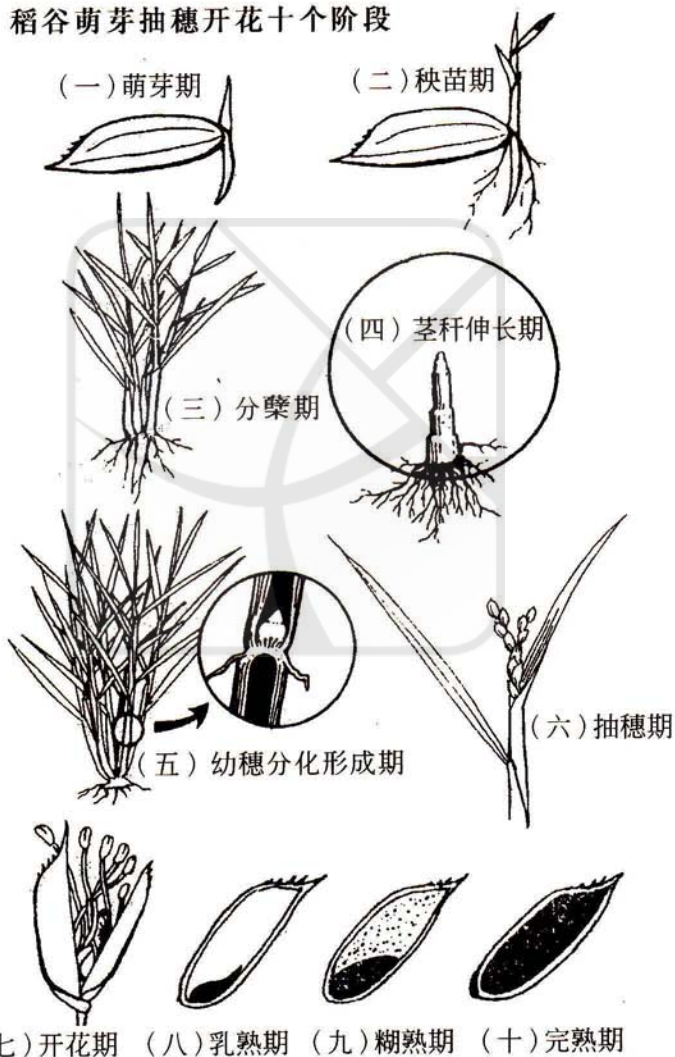
水稻的一生可以分为两个阶段，即营养生长期（vegetative phase）与生殖生长期（reproductive phase）。营养生长期包括种子萌芽至幼穗形成之前的成长，而生殖生长期则涵盖了从幼穗分化至稻谷完熟的阶段。

（一） 萌芽期（germination of seeds）

稻种需要适度的水分、温度及氧气供应，始能萌芽茁壮。水稻萌芽所需的温度，最低是 10°C ，最高为 45°C 。热带的稻种最适宜的温度介于 30°C 至 35°C 。许多谷种持续六小时处于超过 45°C 的高温之后都不能发芽。

谷种经过翻晒，一般仅含12%至14%的水分。在浸种过程中，谷种通过吸涨作用（imbibition）大量吸收水分。

稻谷萌芽抽穗开花十个阶段



正常发芽的种子，通常会吸入相等于种子本身重量约40%的水分。种子内的酵素（enzymes）在吸水约22%时开始活动，将淀粉（starch）转化成葡萄糖（glucose），为萌芽的种子提供能量。

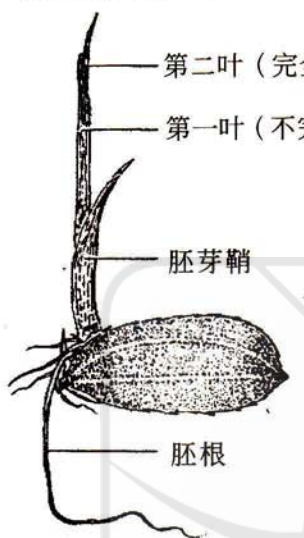
稻的胚芽（plumule）与胚根（radicle）的生长，与氧气状态息息相关。中国农谚中有一句很精简的金言：“干长根，湿长芽”，具体地说明，在通气与排水良好的情况下（aerated and well drained environment），保护胚根的胚根鞘（coleorhiza）最先突破颖壳（glumes，即谷壳），让种子在土壤里扎根，以便吸收水分和养分来促使幼苗茁长。然而如果谷种长期浸泡在水中，造成对氧气的需求异常迫切，胚芽鞘（coleoptile）会先胚根而出，以期获取氧气来进行呼吸作用。如果仍然无法获取充足的氧气，种子将会闷在水中腐烂死亡。

谷种若埋入土中，在没有阳光的环境中萌芽，胚芽将通过中茎（mesocotyl，亦称胚轴）的特别伸长，突出土表以获取阳光。

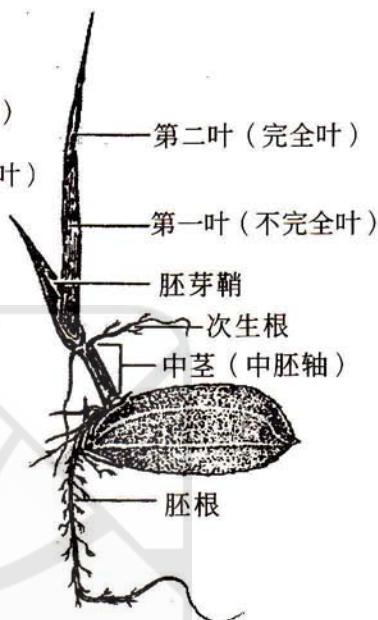
（二）秧苗期（seedling stage）

在热带地区，经过浸种、催芽（incubation）的稻种，通常在播种3天之后长出第一片叶。这片在胚芽鞘后最先出现的是不完全叶（incomplete leaf 或 prophyll），只有叶鞘（leaf sheath）而无叶片（leafblade 或 lamina）。在黑暗的生长环境中，稻种内贮存的养分能维持稻苗长至三叶期

稻谷萌芽阶段状况

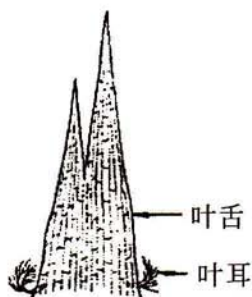


(一) 稻种在通气与光亮的环境下萌芽的状况



(二) 稻种在浸泡水中或黑暗环境中萌芽的状况

水稻茎节与叶片状况



(the reserved nutrients of rice seed support seedling growth up to the third leaf)。如果黑暗持续，秧苗将因养分耗尽而凋萎。

稻苗的生长 (growth)，一般以每株秧苗于固定期间重量的增加 (mg/plant) 作为衡量标准。在阳光普照的生长环境中，光合作用仅负责稻苗于萌芽后第一周内低于30%的成长，其余超过70%的生长，全靠种子本身贮存的养分 (seed reserve)。到了第二周，光合作用承担的责任迅速增加，达致生长的84%。进入第三周之后，稻苗的成长完全依赖光合作用所提供的能量。换言之，当稻苗长至3.7叶龄时，已经能够完全自养 (autotrophic)。

当稻苗挺健地在叶片与叶鞘内积贮有机物质的当儿，稻苗的胚根也积极向下延伸，同时萌发出第二与第三种根 (seminal roots) 以支持和巩固幼苗。这些临时根随后逐渐萎缩，由茎秆基部各个节 (nodes) 上长出须状的不定根 (adventitious roots) 取代。

稻根的发育与施肥有密切关系。若氮素 (nitrogen) 过多，稻苗将长出许多分布于土壤表层的浅根。反之，磷肥 (phosphorus) 与钾肥 (potassium) 的施用，能刺激稻根在下层的土壤中密集分布，增强秧苗吸水抗旱的能力。

(三) 分蘖期 (tillering stage)

每当稻苗长出一片叶子，稻茎 (culm) 上就会出现一个节。每个节的上部都有可能长出一个分蘖 (tiller)，并

于节上和节下长出稻根。分蘖作用普通称为分枝，马来稻农一般称之为 *beranak*，意即生子。

当稻苗的主茎 (*main culm*) 伸出第五片叶 (或第四片完全叶 *fifth leaf or fourth complete leaf*) 时，第二片叶 (或第一完全叶) 的叶腋 (*leaf axil*) 分蘖也开始伸展而出。稻叶与分蘖之间保持着三个叶位的差别，因此，当主茎伸出第六片叶时，第二个分蘖就会在第三片叶 (第二片完全叶) 的叶腋长出来。

水稻每隔 4 至 6 天长出一片叶子，而每个分蘖上也会长出分蘖。因此，当主茎长出第十三片叶时，稻株可能拥有四十个分蘖，其中九个是从主茎上长出来的第一次分蘖 (*primary tillers*)，廿一个从第一次分蘖长出来的第二次分蘖 (*secondary tillers*)，十个从第二次分蘖上长出来的第三次分蘖 (*tertiary tillers*)。事实上，并非每个蘖芽 (*tiller buds*) 都会成长为分蘖，许多蘖芽在水稻的生长过程中一直处于休眠 (*dormant*) 状态。

稻叶的叶片与叶鞘之间有叶耳 (*auricle*) 和叶舌 (*ligule*)，这些生态特征有助于辨别营养生长初期的水稻与禾本科杂草。

水稻在分蘖盛期 (*active tillering*) 时，分蘖的速度最快。如果栽秧太密，形成分蘖太多，秆繁叶茂，互相拥挤，会使一部分分蘖在达致最高峰蘖数 (*maximum tiller number*) 之后，因为营养不良而凋萎。因此，若要提高有效分蘖 (*effective tillering*)，令每一个分蘖成穗而且结实饱满，农民必须适当施肥，促进分蘖前期的生长，并于分

蘗后期抑制无效分蘗 (ineffective tillers) 的形成。

一般而言，移栽稻 (transplanted rice，每平方公尺植十六至廿丛秧苗) 每一株苗能长出十至卅个分蘗，然而直播稻 (direct-seeded rice) 因为撒播的种子密度高 (每平方公尺约四百至五百粒种子)，因此每株苗只能发二至五个分蘗而已。

(四) 茎秆伸长期 (stem elongation stage)

水稻的茎秆有节，节与节之间的部分为节间 (internode)。茎秆的横切面显示：节间中有个空心部分称为髓腔 (medullary cavity)。

茎秆的节数等于叶数加上一个胚叶鞘节与一个穗节。因此，如果主茎生长十五片叶，那么茎秆上就会有十七个节。

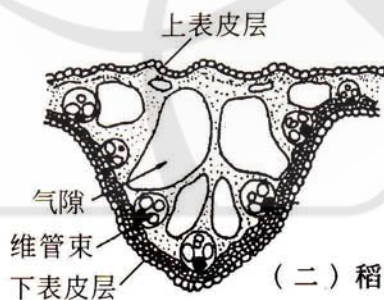
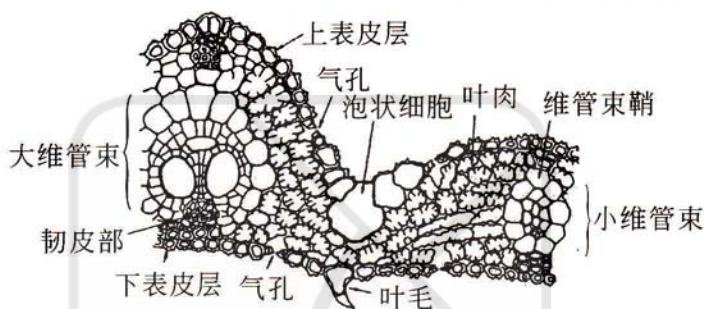
最上端的节间 (uppermost internode) 最长，反之，越接近地面节间就越短。只有上部的大约五个节间会伸长，其余的节间短而密实 (short and thickened into a solid section)。

生育期短的品种 (early-maturing varieties)，其茎秆伸长期与幼穗形成期非常接近；生育期长的品种 (late-maturing varieties) 其茎秆伸长期往往先于幼穗的形成。由于地面以上两个节间的弯曲是导致倒伏的主要因素 (lodging usually results from the bending or buckling of the 2 lowest internodes which have elongated more than 4cm)，因此合

水稻叶片与中脉横切图

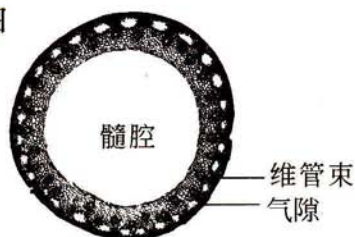


(一) 叶片的横切图



(二) 稻叶中脉横切图

水稻节间横切图



理密植、科学施肥、浅水灌溉和适时晒田，令这两个节间粗短坚实，是避免倒伏的重要措施。

（五）幼穗分化形成期（panicle initiation stage）

生殖生长一般于分蘖高峰期前后开始。生育期较短（105至120天）的品种，幼穗的分化始期与节间伸长期以及分蘖高峰期几乎同时出现。反之，生育期较长的品种（150至160天），分蘖高峰期至幼穗分化始期之间存在一个延缓期（lag-phase）。

稻作是短日照作物（short day plant）。对光周期敏感（photoperiodic sensitive）的品种，稻穗的原基（panicle primordia，亦称原始体）只能于日照少过12小时的情况下形成。微弱的光照，例如水田边沿的灯泡散发的光芒，都足以令稻穗延迟开花。

在马来西亚，位于北纬2度的马六甲，一年中最长与最短的日照差别（difference between the maximum and minimum day length）仅14分钟，然而对光周期敏感的稻种如Siam 29，却能对这个微小的差别作出令人惊讶的生理反应。Siam 29这个品种在1月时栽植，需要经过329天的生育期才会开花结实；然而同样的品种在9月栽植，则只需161天就可以开始收割。

经过作物品种改良，目前在马来西亚水田里广泛栽植的MR系列稻种，对光周期不敏感，幼穗分化不受日长支配，因此生育期相对稳定，能够一年两熟。

(六) 抽穗期 (heading stage)

幼穗在茎秆顶端形成之后, 剑叶 (flag leaf) 也逐渐从叶鞘抽出来。进入孕穗期的幼穗, 在叶鞘内快速增长, 以致剑叶的叶鞘膨胀。一般从幼穗分化至抽穗共需 30 天左右。

稻穗 (panicle) 是水稻的花序 (inflorescence), 由穗颈 (panicle neck node, 亦称穗节)、主轴 (panicle axis)、第一枝梗 (primary branches)、第二小枝梗 (secondary branches)、花梗 (pedicels) 与小穗 (spikelets) 组合而成。

在抽穗前 6 天, 剑叶鞘增厚膨大, 显示内含稻穗, 这 6 天俗称筒形期 (booting stage)。

在马来西亚, 剑叶完全抽出后 9 天至 12 天, 水稻就开始抽穗。从穗尖刚露出叶鞘到全穗抽出叶外约 5 天左右。

同一株稻的不同分蘖抽穗时有先有后, 全田完全抽穗一般需要 10 天至 14 天。从农艺学的角度观察, 全田抽穗期是以 50% 抽穗为标准 (heading is defined as the time when 50% of the panicles have exerted)。

(七) 开花期 (flowering stage or anthesis)

稻花亦称颖花或小穗 (spikelet), 生于花梗上。每朵稻花具有一个外颖 (lemma, 亦称外稃), 一个内颖 (palea, 亦称内稃), 两个护颖 (sterile lemma), 两个浆片 (lodicule, 亦称鳞被或鳞片), 六个雄蕊 (stamen) 及

一个雌蕊 (pistil)。

稻花绽放之前，浆片大量吸收子房 (ovary) 内的水分迅速膨胀，将内颖与外颖推开，雄蕊的花丝 (filament) 迅速伸长，将花药 (anther) 伸出颖外，然后裂口将花粉 (pollen) 吐出，散落于雌蕊羽毛状的柱头 (stigma) 上。20 至 30 分钟之后，内外颖慢慢闭合。

花粉从花药出来之后，只能存活 (viable) 5 分钟而已。颖花在 43°C 的热水中浸泡 7 分钟，花粉就失去生存能力 (viability)，这种对热的高度敏感可应用于去雄以进行杂交育种 (emasculatation in hybridization)。由于水稻雄蕊的花药往往在未开花之前已裂开，许多花粉落在自己雌蕊的柱头上，完成自花授粉 (self-pollination)。因此，水稻的种子绝大部分由自花授粉后受精而成。异花授粉 (cross-pollination) 的机率通常少过 1%。

当一部分的稻穗抽出后，顶端的稻花就会开放，因此抽穗与开花几乎同步进行 (the date of anthesis is the same as the date of heading)。同一串穗的全部稻花需要 7 天至 10 天来完成开花期，一般在 5 天内大部分的稻花已授粉完毕。

开花顺序是稻穗上面的枝梗先开花，下面枝梗后开花。在同一枝梗中，顶端第一朵先开，接着是最下面一朵排第二开花，然后由下而上，以致从上面算起第二朵最迟开花。

开花时间往往随品种与气候而异。在热带的水田里，大部分的品种在上午 8 时开始开花，到了下午 1 时左右停

止。如果气温降低，稻花会延迟绽放。

干燥的热风和滂沱的暴雨都对水稻开花影响颇大。干风使花粉丧失发芽能力，暴雨则将落在柱头上的花粉冲掉或令其破裂，无法完成受精作用（fertilisation）。

（八）乳熟期（milk grain stage）

花粉落在雌蕊的柱头上 2 至 3 分钟之后就开始发芽。花粉管（pollen tube）伸入柱头内，在 6 至 24 小时之间，雄核与子房里的雌配子结合。在受精过程中，花粉管内有二个雄核（male nucleus），第一核与胚珠（ovule）内的卵细胞（egg-cell）融合成合子（zygote），然后连续分裂发育成胚（embryo）。第二核与胚囊（embryo sac）中的二个极核融合，发育成胚乳（endosperm）。

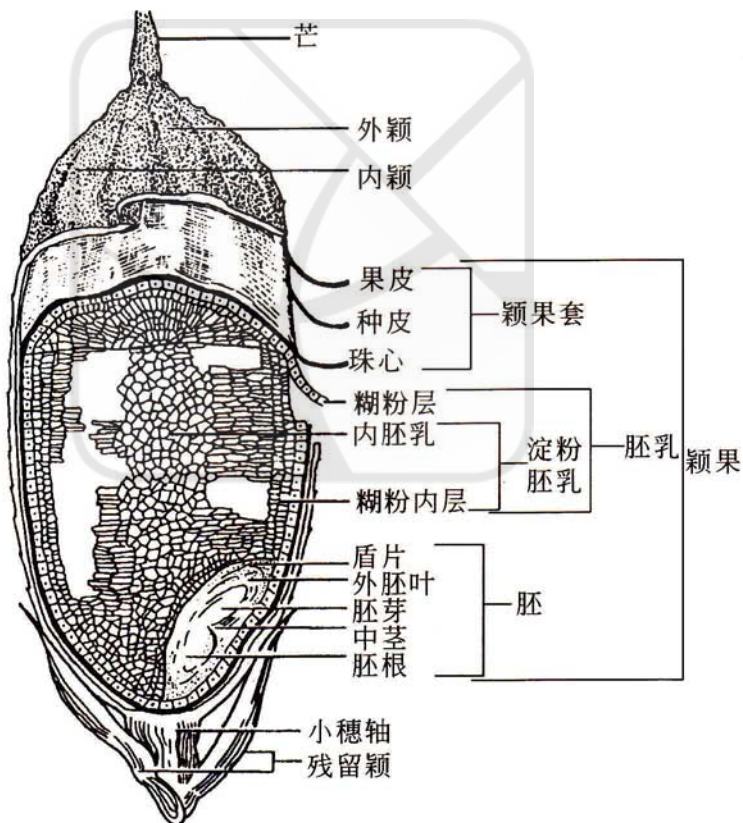
胚在受精 7 至 10 天后，胚芽、胚根等部分已初步成形。开花后 20 天，胚的发育基本完成。

胚乳的发育较胚慢。当光合产物（photosynthates）由稻叶不断输往子房（ovary），胚乳在子房内逐渐由液状转化为乳白状，并能于受压时如乳汁般挤出颖外。

（九）糊熟期（dough grain stage）

当胚乳内的淀粉不断增加，子房亦快速沿着内颖伸长，大约 6 至 8 日，由子房形成的米粒已伸抵稻颖的顶端，达到应有的长度。受精后 12 至 15 日左右，米粒已充

稻谷的形态图



满颖的内部，其含量也因淀粉的积累而呈现与面粉团相似的固结状态。

（十）完熟期（mature grain stage）

米粒内所含的水分以乳熟期最多，至糊熟期已逐渐减少，到了完熟期已无大变化，一般水分介于18%至22%，因气候而异。进入完熟期的稻穗，90%至100%的小穗呈金黄色，胚乳与胚形成的米粒坚硬。

马来西亚的稻穗，若生育期是100天，其营养生长期约40天，幼穗至抽穗期约30天，开花至完熟期约30天。若生育期是130天，其营养生长期约70天，幼穗至抽穗期约30天，开花至完熟期约30天。

水稻的果实（grain，俗名稻谷）在植物学里称为颖果（caryopsis）。由果皮（pericarp或ovary wall）与种皮（testa或seed coat）愈合在一起的单种子颖果，是禾本植物的特征。谷壳（husk，亦称glume）由内颖、外颖与护颖组成。去壳后带糠（bran）者就是糙米（brown rice）。糙米去糠后，仅剩下胚乳的部分就是精米或白米（polished rice）。糠包括果皮、种皮糊粉层（aleurone layer）和脱落的胚。胚乳里的细胞充满无数小颗粒状的淀粉素（granulose）。糙米占稻谷重量的80%，其余20%来自谷壳。糙米去糠成精米后，重量只等于稻谷的65%至70%。

了解水稻的生理，积极培育多蘖矮壮的稻秧，合理密植与施肥，持续浅水灌溉，确保幼穗形成、孕穗开花和灌

浆期间水供充足，从而防止早衰与倒伏，再配合严密的防治病虫、田鼠、蜗牛和草害等措施，并且因地制宜调整各项栽培技术的管理，肯定能够促进稻米生产的稳步增长。

水稻的生命周期

早熟品种的生育期一般少于 100 天

迟熟品种的生育期可长达 160 天



珍惜土壤 · 尊重大地

土壤、水分和空气是构成生命的基础，土壤也是农业发展的温床。没有土壤，人类无法在地球上生存。

公元 1831 年，达尔文（Charles Darwin）乘搭科学研究船“猎犬号”（The Beagle）离开英国前往南美洲进行自然科学的考察工作。五年之后，达尔文完成任务返回家乡时，朋友们好奇的向他询问：“什么是地球上最珍贵的物质？”他毫不犹豫地回答：“是丰饶与充满生机的耕地！”

岩石风化变成土壤

土壤是地壳（crust）上的岩石，受到水分、空气、阳光以及各种生物活动的影响，逐渐在风化碎裂过程（weathering）中形成了风化壳或成土母质（parent materials），然后再经过长期的物理与化学作用而慢慢衍化出来的自然资源。换言之，岩石是土壤之母；形成岩石的矿物（minerals），决定土地中各种元素的含量。例如分布于花岗岩（granite）中的黑云母（mica），由于所含的钾、镁和铁等元素，远远超过石英（quartz）内的含量，因此源自花岗岩的土壤比源自石英的沙土含有更多这类元素。

自然界中的土壤经过人类经年累月的农耕活动，慢慢成为可以栽培作物的耕地。农作物从土壤中汲取养分和水分，利用空气中的二氧化碳（carbon dioxide）与阳光来进行光合作用，制造碳水化合物（carbohydrate）。在良好的自然环境中，作物繁茂成长。收割之后，来自植物的有机质又回归土壤，再度循环。

根据化学分析，植物体内可以检测到七十余种的化学元素，然而高等植物在正常生长和发育过程中所需的营养元素只有十六种而已。在这些元素中，碳（carbon）、氢（hydrogen）和氧（oxygen）可于空气和水分中获取。植物的干物质（dry matters）中，超过 90% 来自这三种在自然界中用之不竭的元素；来自土壤的养分，仅占干物质的 5% 左右。然而这些养分的供应一旦不足，植物就无法进行营养生长（vegetative growth）和繁殖生长（reproductive growth）。这些来自土壤的元素，可以按照植物的需求量分为三大类：

- 大量营养元素如氮（nitrogen）、磷（phosphorus）和钾（potassium）。
- 中量营养元素如钙（calcium）、镁（magnesium）和硫（sulphur）。
- 微量元素或痕量元素（trace elements）如铁（iron）、硼（boron）、锰（manganese）、铜（copper）、锌（zinc）、钼（molybdenum）和氯（chlorine）。

有的作物如水稻，需要硅或矽（silicon）来提高光合效

率和增加对病虫害的抗性，因此硅被归类为特殊营养元素。

各种颗粒组合而成

各种必需营养元素 (essential elements) 之中，作物对氮、磷、钾的需求量很高，然而土壤中能够轻易由作物根部吸收的氮、磷、钾，一般皆无法完全满足作物生长与发育的需求，因此农民必须通过施肥，利用这三种作物营养要素来补给土壤，以调节作物与土壤之间的养分供需矛盾，进而达致作物的增产效果。

在大自然中，土壤由各种大小各异的颗粒 (particles) 组合而成。基本上，根据这些颗粒的粒径 (diameter)，可以分为四大类：

- 石砾 (stone and gravel)：粒径超过 2 毫米 (mm)。
- 沙粒 (sand)：粒径介于 0.02 至 2 毫米。
- 粉粒 (silt)：粒径介于 0.002 至 0.02 毫米。
- 黏粒 (clay)：粒径小过 0.002 毫米。

这些颗粒构成的泥土，可以分为三种质地不同的土壤：

- 沙土类 (sandy soils)：这一类型的土壤沙粒含量高，通气透水性强，保水力弱 (poor soil moisture conservation)，矿质养分贫乏，土质疏松，耕作轻易。
- 黏土类 (clay soils)：这一类型的土壤黏粒含量高，通

气透水性弱，排水不良（poor drainage），矿质养分丰富，土质紧实，旱时板结，涝时泥泞，耕作困难。

- 壤土类或沃土类（loamy soils）：这一类型的泥土沙粒与黏粒的含量适中，通气透水性优良，保水保肥能力持久，有效养分含量高，土质宜耕性适当，是理想的农耕土壤。

含各种不同有机质

土壤中的养分除了来自属于无机质的矿物之外，也含有性质迥然不同的各种有机质（organic matters）。这些有机质一部分来自微生物以及土壤动物的遗体和排泄物，其余来自植物的落叶、枯枝与残根。土壤的有机质可以分为两大类：

- 新鲜有机质与半分解有机质（fresh and partially decomposed organic matter）：动植物的残体和分泌物都属于这类有机质，而泥炭（peats）是最典型的例子。
- 土壤腐植质（humus）：腐植质是由多种有机化合物组合而成的凝聚体（organic aggregates），其主要成分为腐植酸（humic acid）。根据腐植质在不同溶剂（solvents）中的溶解度和颜色，可以分离出三种不同的成分。当腐植质经过氢氧化钠（sodium hydroxide）的处理之后，不能溶解的部分称为胡敏素或黑腐素（humin）。胡敏素的性质不活泼，从中提取的暗褐色溶液（soluble fraction），再经酸处理，沉淀的部分称

为胡敏酸或腐植酸，而仍然留存于黄色溶液中的部分称为富里酸或黄腐酸（fulvic acid）。以上这两种有机酸同属高分子胶体（colloids），主要组成元素包括碳、氢、氮、磷、硫。由于腐植酸的吸附性强，能减少化肥的流失，使养分供应稳定，肥效持久。此外，腐植酸能促使植物呼吸旺盛，提高植物的生命活力，加速酶或酵素（enzymes）的合成作用，从而加强抗逆能力。腐植酸也能促进土壤有益微生物的繁殖，增强土壤肥力，以及消除土壤中的农药残毒和重金属离子的污染。

人类生存基本资源

有机质进入土壤之后，一部分由土壤生物分解为二氧化碳、水分和无机盐，另一部分则由微生物重新合成为新的有机体。土壤中的微生物一般上由细菌（bacteria）、真菌（fungi）、放线菌（actinomycetes）、藻类（algae）和原生动物（protozoa）组成。这些微生物中，根瘤菌（rhizobia）能够进行固氮作用（nitrogen fixation），菌根（mycorrhiza）和一些藻类如硅藻能分解高岭土（kaolinite），释放钾素营养，而有的蓝绿藻（blue green algae）能与满江红（Azolla pinnata）共生，固定空气中的氮素，增加土壤中的氮素养分。

土壤是陆地上各种生命的源泉，也是人类生存最基本的资源。古代的哲人常常强调“地力宜养不宜劫”，经过



漫长岁月形成的土壤，确实来之不易，毁之非难。上天赐予人类最大的恩物是泥土，若以仁民爱物之心加倍珍惜保护土壤，瘠土上亦能庆获丰收。然而，如果对大地之母予取予求，暴虐蹂躏，这些狂妄之徒最终将自食恶果。

慕达稻田土质改良

以马来半岛西北端的慕达灌溉区（Muda Irrigation Scheme）为例，三十多年前，在吉北大平原之上，接近四分之一的水田由pH值低于4.5的强酸性土壤所覆盖，稻禾往往无法正常生长，有的幼苗甚至在萌芽后不久就萎缩枯死。经过科学家和农业推广人员的不断努力，以有系统的排灌法，配合石灰石粉（lime）的科学施用进行长期土质改良，结果大部分灌溉区内的酸性土壤，经过改良之后，已由第四等的瘠土变成第一等的良田。

反观慕达灌溉区内位于玻璃市港口附近的大片良田，由于工业发展计划中的排水系统不完善，造成废水流入稻田，破坏了自然生态，稻禾受到严重污染而枯槁凋残，有的水田连续几个季节颗粒无收，农民生计大受影响。

尊重大地，惜福感恩，“死土”也能化为“活土”。反之，鄙视大地，忘恩负义，“活土”受到糟蹋，反而朽化为“死土”。土壤一旦失去了生产能力，人类将如何延续生机？

气象对水稻的影响

农作物的生育过程，需要水分、温度、阳光和土壤等外界环境因素的和谐配合，始能欣欣向荣。古人很早就观察到气象对农作物的影响。中国的古籍中，就记录了不少节气与农耕活动息息相关的农谚，例如“惊蛰一犁土，春分地气通”，形象地描绘出春风送暖，蛰伏越冬的昆虫在和煦的气候中苏醒，新犁的田野里，处处洋溢着生机。唐朝大诗人杜甫在四川成都的春夜，聆听喜雨淅沥，联想到春苗盼雨，内心的愉悦顿时绽放成诗：“好雨知时节，当春乃发生。随风潜入夜，润物细无声。野径云俱黑，江船火独明。晓看红湿处，花重锦官城。”

水分就是作物血液

在农民心目中，水分就是农作物宝贵的血液。土壤中的无机营养元素必须溶解于水中，才可以由作物的根部吸收，以供作物生长发育之需。

以水稻为例，最适宜稻作蓬勃成长的区域里，每年降雨量必须在1000毫米以上，始足以让稻作茂长。若雨量不足，农民必须设法利用各种灌溉设施，来满足稻作对水分

的生理需求，以达致高产和稳产。

国际水稻研究所 (IRRI) 估计：生产一公斤的稻谷约需利用 5000 公斤的水。

稻作的需水量 (water requirement) 直接受到气候与土壤的影响，以下的方程式阐释了水分的重要性：

需水量 = 叶面蒸腾量 + 水面蒸发量 + 土壤渗漏量

总水量则等于雨水量 + 灌溉水量

稻作的需水量常随气候、土质、地势与耕种法而改变。气候炎热，叶面蒸腾 (transpiration) 与水面蒸发 (evaporation) 随之提高，需水量也大大增加。蒸腾作用能促进无机元素的吸收。当水稻在酷日之下进行强烈的蒸腾作用时，叶片细胞因为缺水而处于不饱和状况，并且产生强劲的吸水力。经过连续不断传递引力的机械作用，这种吸水力最终令根部细胞也处于水分不饱和的生理状态。在水供充足的情况下，根部开始快速吸水，以确保细胞内的水分维持均衡。影响渗漏量 (seepage and percolation) 的因素主要是土壤特性与耕作措施。

多雨不利稻苗生长

水稻成长初期，由于幼苗的通气组织 (aerenchyma tissues) 还未完全形成，若连绵不绝的豪雨令低洼的水田处于淹水状况，往往会造成烂秧和死苗。因此，保持水田

的湿润状态，即田内小沟有水，田面则潮湿不积水，最适宜幼苗生长。

四叶期后，水稻开始分蘖。水层的深浅直接影响分蘖的发生和成长。在黏土成分高的田里保持浅水层（10至25毫米）有利分蘖，令稻苗结实健壮。然而在排水不畅的洼地，深水层（超过120毫米）往往造成稻苗徒长，分蘖率低，秆茎柔弱，结穗之后容易倒伏。

穗分化（spikelet differentiation stage）至抽穗开花期（heading and anthesis）是水稻成长过程中最需水的高峰期。幼穗长度达到2mm之后，其生长速度开始直线上升，因此需要充足的水分供应，将光合作用形成的有机物质，从叶片往叶鞘、秆茎和幼穗顺畅地输送。如果这段期间内严重缺水、气孔（stomata）张开度缩小，二氧化碳（carbon dioxide）进入细胞的进程阻碍重重，光合作用效率下降，将抑制稻穗枝梗与颖花的分化，性细胞减数分裂（meiosis or reduction division）受阻，结果空粒增加，谷产减少。

稻种不同适温有别

水稻在生育过程中所需的温度，随区域而异，也因稻作的品种不同而有很大的差别。一般而言，粳稻（japonica varieties）的适温低，而籼稻（indica varieties）的适温高。

日本水稻科学家 S. Yoshida 于1977年研究稻作的成长与各期所需的温度之后，作出以下的结论：

稻作成长期	最低温度	最高温度	最适温度
萌芽期	10	45	20-35
幼苗期	12-13	35	25-30
扎根期	16	35	25-28
叶片伸长期	7-12	45	31
分蘖期	9-16	33	25-31
幼穗形成期	15	—	—
幼穗分化期	15-20	38	—
开花期	22	35	30-33
成熟期	12-18	30	20-25

稻作成长各期所需的温度 (°C)

在温带与高原地带，低气温常使稻作因冷害 (low temperature injury) 而歉收。冷害所造成的生理异常现象包括：萌芽受阻 (failure to germinate)、发育阻滞 (stunting)、叶片褪色 (leaf discoloration)、穗端退化 (panicle tip degeneration)、抽穗不全 (incomplete panicle exertion)、开花延迟 (delayed flowering)、不稔率高 (high spikelet sterility) 和成熟不均 (irregular maturity)。

在热带，超过35°C的高温会使稻作受到伤损。常见的生理异常现象包括：叶端白化 (white leaf tips)、萎黄缺绿 (chlorotic bands and blotches) 和白纹白斑 (white bands and specks)，这些毛病通常出现于稻叶上。Yoshida 发现：开花期若温度超过35°C，并维持高温超过一小时，空谷率将大大提高。

光合作用左右稻产

中国水稻科学家的研究认为开花最适宜的温度为 25°C 至 30°C ，最高温度为 40°C 至 45°C ，最低为 13°C 至 15°C ，但当气温低于 23°C 或高于 35°C ，花药（anther）的开裂就受到影响。空气干燥加上高温，能使花粉寿命缩短，甚至在授粉之前已因干燥而死亡。

植物利用叶子内的叶绿素（Chlorophyll）吸收阳光，将二氧化碳和水化合为充满能量的碳水化合物。水稻的经济产量，95%以上是来自光合作用的产物，来自土壤的营养一般上不超过5%。

植物生理学家的研究证实：高产水稻品种的光合产物（photosynthetic products）之中，约90%来自抽穗后的光合作用。至于一般的稻种，约70%的碳水化合物是于抽穗后形成，其余30%是抽穗前经过光合作用制造，然后贮存于茎秆（culms）和叶鞘（leaf sheaths）里的光合产物转化而来的。

水稻叶片的正面和反面都能以几乎相同的效率来进行光合作用，因此高产的水稻品种，其株型（plant type）是矮秆茎壮，叶直短窄，透光良好，中下层叶片都能善加利用直射光和散射光来制造养分，提高产量。

在烈日之下，一部分阳光投射在稻株上，另一部分则漏落田面上。倘若稻作繁茂生长，漏光现象将减少；稻作若长势萎弱缓慢，漏光则增多，结果浪费宝贵的光能。

合理密植是提高阳光利用率的良策。叶面积指数

(Leaf Area Index 简称 LAI)，也就是绿叶面积和田地面积的比值，于孕穗至抽穗期若能达致 6 与 8 之间，抽穗后稳定于 4 至 5 之间，有助稻作充分利用阳光来完成增产的目标。

善加利用气象条件

气候状况与病虫害的发生也有密切关系。以稻瘟病（亦称稻热病 rice blast）为例，当抽穗期遇到阴雨连绵和低温的气候，病害就可能严重发生。同样的，多雨高湿的气候对褐飞虱（brown planthoppers）的发生有利。在直播水田里，如果稻株密度大，稻叶封行早，行间不通风，温度湿度高，褐飞虱大发生的频率将会显著提高。

深入了解水分、温度和光照对稻作的影响，农民在抗御灾害性天气和病害、虫害侵袭的能力将获得增强。善加利用适宜的气象条件，配合科学施肥、灌溉和病虫害的综合防治，农民将能趋利避害，欢庆丰收。

回顾品种改良的漫漫长路

卅多年前，我在吉打州的水稻研究中心实习，看到遍植改良品种的示范田里，结实累累的稻穗迎风摇曳，内心洋溢着无限的愉悦与欣喜，于是将满腔的激情，流露于〈收割阳光〉这篇散文里。我在字里行间对优质和高产良种作出衷心的礼赞：“谷种和生命一样，是无价的。一粒金子埋入土里，还是一粒金子；一颗谷种埋入土里，却会长出无数的谷粒。千万亩的稻禾成熟了，可以把千百个晒谷场铺成金色的沙漠。如果刮起旋风，谷坵甚至可以把一整列骆驼商队埋没！”

良种不断推陈出新

与水稻朝夕相处多年，我看到一个接一个良种被引介，我也看到一个接一个品种被更优越的新种代替。良种的更换，不断地将水稻的产量，由一个较低的水平，推向一个更高的峰岭。

根据北京农业大学的鲜宝林所编的《水稻栽培技术》一书，中国水稻平均亩产，由1949年的126千克（每公顷1.89吨），提高到1985年的358千克（每公顷5.37吨），

其中最重要的因素之一，是水稻新品种的大批育成和推广。中华人民共和国成立后的四十年内，全国共育成水稻新品种七百八十个，比解放前增长卅七倍。

中国杂交水稻之父袁隆平，在1986年国际杂交水稻研讨会上中提呈的论文内指出：杂交水稻比最佳的常规稻种产量超出20%。在东北的辽宁省，杂交粳稻最高产量是每公顷13.7吨；在江苏省，籼稻最高产量是每公顷14.4吨。良种的推广，大大改善人民的生活。

国际水稻研究所 (IRRI) 于1997年发表的统计报告显示：中国稻作面积约3千40万公顷，占世界稻作总面积的21%左右，单位面积产量平均为每公顷5.9吨，占世界稻谷总产的33.3%左右，是世界上最大的稻米生产国和消费国。反观印度，虽然稻作面积为世界最大，约4千200万公顷，占世界稻作总面积的29%左右，然而因为单位面积产量低，每公顷只有2.8吨而已；在总产量方面，占世界稻谷总量的22.1%。中印两国稻谷产量的差异，其中一个重要因素是，良种的推广出现明显的差距。中国于1990年代中期，良种几乎遍布全国各地，然而在印度，只有大约66%的稻田种植高产的现代品种 (modern varieties)。

四主要条件为依归

在马来西亚，传统的稻种如Radin、Seraup、Mayang Eboss 和 Subang Intan 等于1950、1960年代每公顷仅能获得1.5至2.5吨的谷产而已。自从1964年引介了Malinja(由

Siam 29 和 Pebifun 交配)，以及 1965 年引介 Mahsuri（由 Mayang eboss 和 Taichu 65 交配）这两个适合双季种植的稻种之后，谷产开始提升至每公顷 3 至 4 吨。

自从 1972 年马来西亚农业研究发展所 (MARDI) 成立之后，经过三十余年不断的研究与推广工作，将培育出来的良种向农民推荐，终于为全国的水稻种植带来了大幅度的增产。综观廿余个受到农民采用的良种，我们将发现，努力不懈的品种改良工作，已使水稻从 1960 年代末 Mahsuri 每公顷平均 3、4 吨的收成，提升至 21 世纪初 MR219 每公顷 6.4 至 8.0 吨的收成。在雪兰莪西北区的适耕庄，MR219 甚至达到每公顷 10.7 吨的谷产。

MR219 的优越表现，令一些人士产生错觉，以为大面积种植 MR219 作为当家品种，就可以单靠一个良种达到全面增产，年年丰收。

一个优良的水稻品种，基本上必须具备四个主要条件：

- 产量高：单位面积产量取决于有效分蘖、粒数、结实率和粒重。
- 品质好：出米率高、米质油亮、光洁晶莹，饭粒柔滑和口感食味俱佳。
- 成熟早：早熟型全生育期介于 105 天至 120 天，可增强双季稻种植的伸缩性，并且减少灌溉水分的消耗。
- 抗逆性强：具备耐荫、耐寒、耐热、耐旱、耐涝、耐酸性、耐盐硷性、抗虫、抗病和抗倒伏的能力，始能保证高产和稳产。

受自然因素所影响

一般而言，一个优良品种的各种特性，是在一定的自然条件与栽培条件下形成的。高产品种于低产田里，受到劣质土壤和不利的生态环境影响，就无法发挥旺盛的生命力来达致高产。促成水稻高产的条件若不俱足，再加上栽培技术不完善，种子处理不恰当，收割、贮藏和运输等环节出错，经常出现机械混杂，都会促使品质出现变异，造成品种退化。

稻作研究的文献里，详细记录了连续多年于同一个地区大面积种植单一品种，往往会促使一个良种的抗逆性减弱，产量降低和品质变劣。

中国的农学家朱丽娟、林毅和董国堃于1986年研究了杂交水稻抗瘟性下降原因之后，指出1970年代中期以来，大面积推广的汕优6号（珍汕97A／IR26），随着种植年代的增加而不抗某些稻瘟小种，结果因为这些病原菌小种的迅速增殖而丧失抗性。为了克服品种抗病性丧失的难题，水稻病理学家一般采取积累多个抗性基因，选育多系品种，综合垂直抗性和水平抗性于同一品种之中，或采用轮换种植不同的垂直抗性品种等方法作为对策。

马来西亚最大的米仓：慕达灌溉区（Muda Irrigation Scheme），因为大面积种植单一稻种而受到病虫害严重侵袭的经验，也值得其他水稻工作者参考。

奇迹稻遭病魔侵袭

1967年，正当慕达灌溉计划如火如荼地兴建水坝和其他基本设施时，农业部为了配合双季稻的示范种植，决定积极鼓励农民大规模栽种被誉为奇迹稻（miracle rice）的国际稻8号（IR 8，亦称 padi Ria）。IR 8号是由印尼的 Peta 与台湾的矮秆抗倒品种“低脚乌尖”（Dee-geo-woogen）杂交育成的高产品种。这个品种的光合作用效率高，通过恰当的灌溉与施肥，穗大粒多，单位面积产量可以高达一般热带传统水稻品种的两倍，甚至三倍的收成。可惜这个新品种经过大面积的种植之后，受到稻热病（rice blast）和白叶枯病（bacterial leaf blight）的严重感染，加上米质欠佳，结果光彩尽失，无人问津。IR 8号后来由国际稻5号（IR 5，亦称 padi Bahagia）所取代。

1970年代中期，由本地育种学家培育出来的品种 Seribu Gantang（IR 8 / Engkatek / Secupak），虽然未经正式推介，却成为慕达区稻农的新宠。Seribu Gantang 这个品种具有高产和耐土壤酸性的特点，因此在土质较劣的地区，受到农民分外的欢迎。单单在1977年，慕达区内就有大约76%的水田栽植了这个品种。

由于 Seribu Gantang 这个稻种对叶蝉（green leaf hoppers）毫无抗虫能力，大面积的种植促使叶蝉虫口密度大增，并趋向嫩绿稻株大量产卵。叶蝉的成虫和若虫（nymphs）以刺吸稻茎汁液为生，能带矮缩病毒与东格鲁病毒（tungro virus）。1981年至1984年间，慕达区的水

田里，由东格鲁病毒感染而四处蔓延的红稻病（penyakit merah），造成两万余公顷的水稻萎缩枯黄，尤其是种植 Seribu Gantang 的水田，病情最为严重，有的田里甚至数季颗粒无收。根据估计，由于红稻病肆虐，慕达区的稻农于四年内共损失马币 2 千 450 万元。慕达区的平均谷产，由每公顷每季 4.5 公吨，逊退至 3 吨左右。很多农民面对惨重挫折，只好在水深火热的困境中依赖借贷度日。Seribu Gantang 这个品种由国际稻 42 号（IR42），与本地稻种 MR1 与 MR84 取代之后，红稻病终于受到抑制，农民也逐渐对双季稻的种植恢复了信心。

大规模种植后遗症

MR84 号属于半矮秆型水稻，茎秆坚韧，分蘖力强，株型良好，植株不易早衰，不易受稻热病与红稻病侵袭。在直播田中，MR84 号成熟较快，通常于播种后 115 天左右就可以收获。这个稻种若获得恰当的施肥与病虫害防治，能达致每公顷 7 吨以上的收成。

自从 MR84 号于 1986 年正式由农业部向农民推荐之后，种植面积稳健上升，并且成为马来西亚稻作发展史上受到最广泛种植的稻种。根据农业部的调查，1994 年全国八个主要水稻种植区里，超过 80% 的水田选栽 MR84 号。

然而，大面积种植单一品种的水稻，再次使病害广泛蔓延的历史重演。由于 MR84 号抗白叶枯病的能力很低，容易让病原菌 *Xanthomonas oryzae* 从植株的气孔、水孔和

伤口入侵，在维管束 (vascular bundle) 内寄生繁殖，造成叶片枯黄灰白，然后凋萎卷缩。1994年的第一季稻，慕达区内，将近50%的水稻受到白叶枯病感染，部分受到严重侵袭的 MR84 号稻种，减产 15% 至 30%。

为了缩小 MR84 号的种植面积，马来西亚农业研究发展所于 1995 年初向稻农推介两个新的水稻品种，即 MR159 与 MR167 号稻种。1990 年代末，另一个新品种 MR185 (CY1056 / MR133)，在经过多个季节的评估之后，已正式纳入推荐榜。

选择良种保持纯度

2001年，农业部为了增强马来西亚稻米业在市场上的竞争能力，决定引导稻农朝向每公顷每季10吨这个目标迈进。MR219 (MR151 / MR137) 由农业部隆重推荐予全国稻农，并鼓励他们广泛种植这个新品种。

MR219 确实是一个优良的品种，生育期约 105 天至 111 天，穗大粒多，千粒重高达 27 克以上，对稻热病、红稻病、白叶枯病以及褐飞虱皆具抗性。可惜这个品种对螟虫抗性较弱。经过三个季节大面积种植之后，一部分慕达区的稻农已观察到，稻螟的破坏正日趋严重。

实践证明：水稻虽然是自花授粉作物 (self-pollinated crop)，自然杂交率一般在1%以下，然而仍不免会出现自然杂交而造成混杂。为了避免品种退化，严格选择种子是保持良种纯度的最佳方法。

回顾过去三十年稻作品种改良的漫漫长路，我深深领悟一个颠扑不破的道理：如果水稻的品种太过单一，稻作面对的风险将大幅度升级。

稻作品种需要多元化，国家的文化发展又何尝不是如此呢？



半矮秆的 IR8，仅及 Peta 三分之二的高度而已。



中国的杂交水稻，一般产量较最佳的常规稻超出 20%。

稻作的生态环境

中国于1998年发生了极为罕见的洪涝灾害，受灾面积超过3亿亩。朱熔基总理考察了东北灾区后指出：造成特大洪水的原因是气候异常，普降暴雨。然而，洪水长期居高不下，造成严重损失，也与森林过度采伐、生态失衡、水土流失、泥沙淤积、行洪不畅有关。朱总理也引用了恩格斯在《自然辩证法》中的话告诫国民：“不要过分陶醉于人类对大自然的胜利。对于每一次人类的胜利，大自然都对我们进行报复，而我们最初的成果也因此而消失了。”

提升农民灾害认知

环境保育学者研究了各种灾害的肇因后说：天灾的发生，其实八九是人祸。因此，为了纾缓日益恶化的生态环境危机，以及贯彻可持续的农业发展（sustainable agriculture），农民对灾害的认识与了解必须提升，对农村环境教育必须增强，对自然生态基本知识的推广也刻不容缓。

生态学（ecology）这个名词源自希腊文oikos（居所）和logos（语言和文字表达的学说）。顾名思义，生态学是

研究各种生物与自然环境之间的关系，以及彼此之间能量互相流转的一门学问。

在缤纷繁复的大自然中，凡是俱有相近的遗传因素、形态与生理特征，并且能够通过交配产生子代 (offsprings) 的生物体，皆归类为同一个物种 (species)。例如，在田地生长的栽培稻 (*Oryza sativa*)，就是一个经过人类长期筛选和驯化之后，形态与生理产生变化，并且与野生稻 (*Oryza rufipogon*) 迥然不同的物种。稻作经过大面积种植，密集的植株在一个特定的区域环境中，共同组合成稻作的群体 (population)。经过耕犁和灌溉而逐渐形成适合稻作繁衍的地方，在生态学中称为稻作生境 (rice habitat)。

随着其他物种的入侵，稻作生境会不断出现日新月异的变化。入侵的各类物种，如不同种类的杂草、昆虫、田鼠、飞鸟、蛙类和鱼类等，在稻作生境中彼此进行交互作用。这些不同物种的群体，逐渐在共同的稻作生境中形成了群落 (community)。生物群落在区域环境内为生存斗争时，不断相互影响，相互制约和相互依存，并且进行物质循环和能量转化，从而建立起一个综合的、稳定的、交互支撑的生产结构，这个架构称为生态系统 (ecosystem)。

稻作生态分四大类

稻作生态系统大体上分为四大类：

- 湿地 (wetland) 经过开发，兴修农田水利，足以进

行大面积水稻密集种植，称为灌溉稻作生态系统（irrigated rice ecosystem）。

- 无灌溉设施的平原地区，仰赖季候风带来雨水以满足稻作生理需求，称为靠雨平原稻作生态系统（rainfed lowland rice ecosystem）。
- 斜度大的陡坡，利用刀耕火种的方式开垦，并以旱稻作为主要作物，称为高地稻作生态系统（upland rice ecosystem）。
- 低洼地区，常于种植季节的后半段遭受洪涝淹没，水深超过50厘米（cm），淹水期漫长，稻作以浮水稻为主，称为深水稻作系统（deepwater rice ecosystem）。

生态系统中的不同物种，通过寻觅食物，获取养分的掠食过程，贯串起来就形成了食物链（food chains）。每个物种在食物链中都占据一个特定的位置，这个位置在生态学中称为营生阶层（trophic levels）。处于最低营生阶层的生物，主要通过光合作用，将来自太阳的能量贮存于碳水化合物（carbohydrate）中。这个阶层的生物，称为生产者（producers）。农田里的稻作与其他杂草都被归类为生产者。处于营生阶层中较高的位置，并从生产者那儿获取养分的生物，皆归纳为消费者（consumers）。人类就是水田生态系统中最重要消费者。

金字塔型营生阶层

稻作在生长过程中，常常遭受害虫侵袭。这些草食生物（herbivore），例如各种螟虫，在营生阶层中位居第二阶，而捕食螟虫的天敌（natural enemies），例如鸟类、蛙类、其他肉食生物（carnivore）与杂食生物（omnivore），则占据了营生阶层的第三阶。

除此之外，食物链中潜伏着庞大的微生物群，像生态系统中隐形的清洁工人，将源自动物和植物的残躯和废料腐化，回归土壤和空气。这些清除生态废料的生物，称为分解者（decomposers）。在稻作生态系统中，进行氨化作用（ammonification）和进行硝化作用（nitrification）的各类微生物，例如将氨基化合物分解为硝酸盐的亚硝化单胞菌（Nitrosomonas）与硝化杆菌（Nitrobacter）都是重要的分解者。

生态系统中的食物关系错综复杂，有些生物可能在多个营生阶层中占有不同的位置。例如，田里的麻雀，既啄食谷粒，也猎食稻禾上的昆虫。此外，一种生物也可能成为多种生物的食物，例如，稻作的每个部分，包括根、茎、叶、花、穗、米，都可能受到蝼蛄、稻螟、螞蟥、田鼠等的侵袭。这些相互交错的食物链，组成了令人眼花缭乱的食网（food webs）。

在一个平衡隐定的生态系统中，初级生产者的生物质量（biomass），一般上远远超越消费者的质量。各个营生阶层堆砌起来，可以形成稳定的能量锥（pyramid of

energy)。例如，管理妥善的水田里，处于营生第一阶的稻作茂密生长，而处于第二与第三阶的害虫、田鼠、麻雀的数目则偏低。这些营生阶层在水田生态中，建立起一个金字塔型的架构。

如果生态系统受到外来因素影响，生产者与消费者的群体数量剧烈波动，整个系统可能因此出现危机。一旦消费者的生物质量膨胀到初级生产者无法承担的水平，有关的生态系统将因失衡而崩溃。例如，在水田里大面积种植抗虫性薄弱的稻作品种，再加上施肥过量，滥用除虫剂，误伤益虫（天敌），营造适宜褐飞虱（brown planthoppers, *Nilaparvata lugens*）大量繁殖的生态环境；褐飞虱迅速暴发成灾之后，到处刺吸稻汁，令植株干枯，稻穗萎缩，瘫痪倒伏，严重时虱烧（hopperburn）甚至使整片稻田像被火烤干似的全面失收。

天敌克制有害生物

天敌是田里各种有害生物（pests）的克星。农民有必要多认识这些活跃于稻作生态系统中的宝贵生物资源。天敌（natural enemies）的种类繁多，一般上可以分为三大类：

- 病原性天敌：包括病毒、细菌、真菌、原生动物和线虫等。最好的例子是能令水稻叶蝉（leafhoppers）与飞虱（planthoppers）罹病的白僵菌（*Beauveria* spp）、虫生藻菌（*Entomophthora* spp）和轮枝菌（*Verticillium*

spp)。

- 寄生性天敌：包括各类寄生性昆虫，例如稻螟赤眼蜂 (*Trichogramma japonica*)，在鳞翅目虫卵中寄生，消耗害虫的营养，造成害虫死亡。
- 捕食性天敌：包括各类猎食害虫的昆虫、蜘蛛、蛙类、爬虫类、鸟类和哺乳类等。喜欢捕食稻螟和飞虱的稻田狼蛛 (*Lycosa pseudoannulata*) 属于这类天敌。

天敌与作物之间的关系有时复杂微妙，例如，麻雀捕食害虫，同时又啄食稻谷。因此，在采取任何防治措施之前，必须从生态学的角度作出全面与客观的评估。李小惠编著的《鸟与人类生活》这本书里有一个佳例值得农民深入思考：由于多个世纪以来，人们把麻雀当成是害鸟，中国农民决定于 1957 至 1958 年间，全面推行消灭麻雀的植保运动，杀死了数十亿只麻雀，结果引发自然生态系统失调，许多农田和果园里虫害猖獗，作物减产或失收。河北农区的田野研究揭露：麻雀的全年食物中，农作物种子占全年食量的 52.2%，昆虫占 9.6%，杂草种子占 36.8%，其余是些杂屑等。麻雀在繁殖育雏期，喂养雏鸟的几乎全是虫子，昆虫占总食量的 94.9%。由此可见，麻雀在繁殖季节能消除许多害虫，对农林有益。

保护持续农业基础

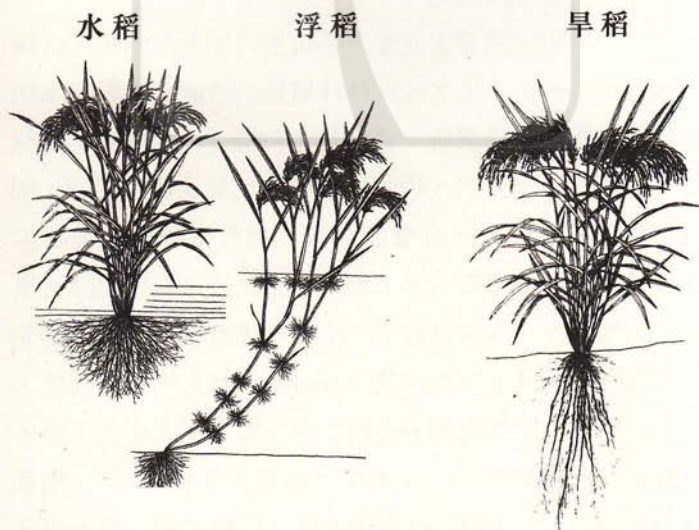
稻作生态系统与其他比邻的非农业生态系统之间，也

常常休戚相关，保护这些非农业生态系统，其实就是保护可持续农业的基础。许多热带平原稻作生态系统位于滨海区域，沿海的沼泽滩涂到处是郁郁苍苍的红树林（mangrove）。红树林的群落中有乔木和灌木，支柱根（prop roots）和板根（buttress roots）盘根错节，形成能够阻挡风浪的绿色堤坝，守护堤内千万顷良田。此外，红树林遍布的水域中，风浪平静，有机质丰富，非常适合鱼、虾、蟹、贝栖息和繁殖。对红树林乱砍滥伐，破坏了沿海的天然屏障之后，海潮对稻田的侵蚀变成挥之不去的梦魇。吉北大平原的慕达区于1980年代末，曾因沿海的稻田失去红树林的庇护，结果海潮决堤造成灌溉区内整百公顷正在抽穗的稻禾，在海水浸渍之下，根茎的组织迅速脱水，细胞受到质壁分离（plasmolysis）严重破坏，短短两天内，稻禾全部枯死。

另一个重要的非农业生态系统是河流上游的集水区域（catchment area）。集水区森林环境是一个能直接影响水稻灌溉与耕作的生态系统。森林是生物圈（biosphere）的绿肺，能通过光合作用，吸收大气中的二氧化碳（ CO_2 ），同时提供氧气。此外，森林能吸收其他有毒物质和吸附尘埃，涵养水源，调节气候，防止水土流失。森林能降低风速，防风固沙。森林也宛若一座天然基因库，蕴藏着野生动植物资源。从生物多样性（biodiversity）的视角观之，热带雨林的生态系统最丰盛和多姿多彩。在吉北大平原，灌溉稻作的水供源于三个水库，即慕达（Muda）、柏都（Pedu）和安宁（Ahning）水库，而水库内的蓄水皆来自水

库上游庞大的集水林区。若滥伐林木，造成水土流失，泥沙将令水库的蓄水容积缩减。亢旱来临时，水库将无法储存足够的水量以供灌溉及饮用，稻作也将因为缺水而产量骤降。

世界上许多地区正鼓励封山植林，退耕还林，恢复植被，保护生态。过去三十年，耗费数亿元来改善灌溉设施的水田，已经为国家的社会经济发展作出重大的贡献。为了使我们的灌溉稻作生态系统，能继续为日益增加的人口提供足够的粮食，每个人都有责任尽力保护所有珍贵的生态环境，像捍卫自己可爱的家园，以及自己和亲人的生命！



水田里的草害与防治措施

原始农业使用“火耕水耨”的方法种植水稻，说明先民于数千年前已深切领悟，作物的繁茂与丰收，有赖于免除杂草的干扰。所谓火耕，就是先燃烧田面的草木，然后才进行播种；至于水耨，就是先在田里灌水，将杂草淹没，然后设法将杂草踩入松软的田土中，或者以耘田器翻土灭草。

非种植物当杂草论

杂草学家的研究证明：许多杂草的种子，曾经是先民的粮食。人类最先培育的作物，亦很可能精选自当年围绕于先民住所附近的杂草。随着人类利用空旷生境来大量繁殖作物之后，他们发现那些“目的作物”周围的植物，不但会严重干扰人类对土地的利用，同时还会明显地影响作物的收成。为了识别杂草以进行防除工作，生态学者为杂草作了一个简单的定义：任何植物，若出现于不该出现的地方，全部归类为杂草（a weed is a plant growing where it is not desired）。根据这个定义，出现于稻田里的玉蜀黍，因为与水稻竞争阳光、水分、养料和空间，所以被划分为

杂草。同样的，在玉米田中冒出来的自生稻（volunteer rice），也成为杂草。此外，在专供培育 MR219 号品种的稻作种子农场里，MR84 号品种的出现，影响了稻种的纯度，因此成为杂草而必须连根拔除；反之，在培育 MR84 号品种的稻作种子农场里，MR219 号稻种也绝对不许混杂其间。由此可见，杂草这个概念，是相对“目的作物”而言，如果没有作物，杂草的概念就不会出现。

自然生境中繁殖快

杂草与作物在自然生境（natural habitat）中竞争，往往轻易取胜，然而农耕活动所施加的人工选择压力（selection pressure），却对杂草非常不利。为了在逆境中生存，杂草在物竞天择的生态环境中，逐渐形成了鲜明的遗传特征。基本上，竞争力强韧的杂草都具备以下数项特性：

- 生长与繁殖率迅速（rapid vegetative and reproductive growth）：最明显的例子是直播田中为害最烈的稗草（*Echinochloa crus-galli* or barnyard grass）。这种禾本植物，分蘖力强、秆茎粗壮、成熟期比水稻早。在马来西亚的水田里，一般上于萌芽后 42 至 45 天即开始出穗。一株稗草能结实一万余颗种子，并且在水稻收获前 20 至 30 天内纷纷坠落于田面，于次季到来时大量繁殖，广泛危害稻作。
- 具备抗逆的坚韧生命力（ability to survive and adapt

to adverse conditions)：旱田里的马唐 (*Digitaria sanguinalis*) 面对严重缺水的劣境时，能形成伸缩根 (contractile roots)，同时暂停茎端的生长，尽力保存组织中的水分。一些莎草 (*Cyperus* spp)，能在酸性和硷性土壤中生存繁殖，而羽芒菊 (*Tridax procumbens*) 在缺磷的土壤上能正常成长，因为具有特殊的积累磷元素的能力。

- 通过休眠抗衡不良环境 (possess dormancy under unfavourable conditions)：很多杂草种子必须度过一段休眠期，直至气候适宜之后才逐渐萌芽，以免除幼苗受到不利环境的摧残。促使种子休眠的因素很多，例如土壤中高浓度的二氧化碳 (CO_2) 和阻止胚 (embryo) 吸收水分的坚硬种皮 (testa)，以及种皮内所含蕴的休眠素，压抑了酶在种子内的生理活动等因素，都会造成种子休眠。马齿苋 (*Amaranthus* spp.) 的种子，可以通过休眠，在稻田中潜伏了四十余年之后，仍然保持充沛的发芽力。
- 能够以多种方式繁衍后代 (propagation through various methods)：许多杂草除了以种子繁殖，还能以无性繁殖 (vegetative reproduction) 的方式延续物种。例如旱田中的香附子 (*Cyperus rotundus*)，在匍匐茎 (rhizome，亦称根茎) 上能长出椭圆形块茎 (tubers) 以贮藏养分。块茎即使受到割切，每个小块仍有萌芽能力，并且可以长成新株。在正常的环境里，一个块茎能于 135 天左右长出三百余个新块茎，每个块茎都能生出新的植

株，然后藉着匍匐茎在地下四处扩张，并于末端再形成新块茎。这种繁殖方式，能使香附子在一平方公尺面积内 10 厘米深的土壤中，长出多达 1630 个块茎。

大部分作物属三碳

杂草为何能在竞争过程中远远超越水稻呢？

要解答这个问题，就必须从植物在光合作用中的碳同化（carbon assimilation）途径谈起。大部分作物，包括水稻在内，皆属于三碳（C₃）植物。这类植物在光合作用进行过程中，让空气中的二氧化碳（CO₂）进入叶绿体（Chloroplast），与二磷酸戊糖（ribulose diphosphate）结合，先形成不稳定的六碳化合物，然后分解为两个三碳的分子，称为磷酸甘油酸（phosphoglyceric acid），随后经过一系列化学作用，最终转化为葡萄糖（glucose）。C₃植物因为进行高光呼吸（high photorespiration），结果耗损了光反应（light reaction）中部分有机产物，降低了二氧化碳在光合作用中的利用效率。

反之，很多杂草，包括稗草和千金子等，皆属于四碳（C₄）植物。这类植物让二氧化碳在叶子内先形成含有四碳的草酰乙酸（oxaloacetic acid）。由于 C₄ 植物进行的是低光呼吸，其固定二氧化碳的效率比 C₃ 植物高，因此能够增加光合率（photosynthetic rate）以及碳水化合物（carbohydrate）的合成能力。C₄植物另一个特色是水分需求远较 C₃ 植物低，在缺水的劣境中较 C₃ 更能抗旱，生存

能力也较顽强。

生存斗争中，属于C4的杂草往往令C3的作物处于劣势，产量锐减。中国的研究显示：一株水稻面对一株稗草的竞争，谷产下跌35%；若受两株稗草夹攻，谷产遽减62%；若遭遇三株稗草侵袭，谷产暴退88%。在直播稻田里，若不防除稗草，只要三个季节，稗草就能遍布于水田的每个角落。

以往稻农下田拔草

化学除草的方法尚未出现之前，农民在田里以手拔草称为耘稻。中国的吴地稻作文化中，有两首属于拔草的农谚，栩栩如生地描绘出农民的艰辛：

1. 耘稻要唱耘稻歌，两膀弯弯泥里拖；眼看稻中棵里稗，十个指头接六棵。
2. 耘稻双腿泥里拖，两手挖个油盏窝；棵棵稻脚都挖到，草烂肥足稻发棵。

除了用手拔除杂草，中国农民常用的农具包括刮草（hedgehog style weeder，一种在圆轴上安置了木齿的除草器）和耢耙（harrow，一种菱形木板，板面安装了弯钉，可在稻作之间的空隙除草）。这些工具只适合应用于移栽稻（transplanted rice），在直播稻（direct-seeded rice）的水田里就无法有效地拔除杂草。

自从第一个选择性化学除草剂（selective herbicide）于

1940 年代问世之后，各种类型与剂型（formulation）的除草剂纷纷出现，帮助农民节省了大量稻田人工拔草的劳动力，以及更完善地控制直播田里各种顽劣的杂草。

由于不同区域里的水田土壤、气候状况、栽培技术、耕作制度、水利设施、管理方法存在很大的差异，稻农要解决直播田里的草害问题，就必须加强水田杂草的综合防治。单纯强调化学除草，而忽略了其他农艺措施如整地、选种、施肥、排灌和防除病虫鼠害等工作，将无法全面控制杂草以及达致高产的目标。

严格执行检疫制度

马来西亚的直播水田里，杂草的种类比移栽水田的杂草繁多。在一定范围与特定时间之内，一种除草剂通常只能有效地消灭某些类型的杂草。因此，教育农民识别各种杂草，以及了解各种除草剂的杀草机制（mode of action）和防治杂草的效率，并且全面掌握正确的用量与施用方法，都能帮助农民克服稻作受到化学除草所造成的药害（phytotoxicity）等不良影响，从而提高收成。

由于杂草种子能混杂于水稻的籽实里，然后经过调运而四处传播，因此严格执行检疫制度（quarantine system），将能有效地减少顽劣的杂草从外地传入蔓延，引发新的生态危机。

窥探化学除草的奥秘

在马来西亚，自从稻农于1980年代开始采纳直播法（direct seeding culture）以取代传统的移栽法（transplanting culture）之后，单纯依靠手工劳作和人力拔除已无法克制杂草在水田四处蔓延。慕达灌溉区里进行的田野调查显示：即使消耗240小时劳力来拔除一公顷直播水田内的杂草，野稗与千金子仍然随处可见，并且猖獗地与稻作竞取阳光、养分和空间。反之，若采用化学除草，每公顷水田只须应用20小时劳力来喷施除草剂，农民不但能及时控制杂草，还能节省肥料，并且显著地提高稻作的收成。

让农民享巨大回酬

最先施用于田间的除草剂都属于无机化合物（inorganic chemicals）。大约于1897至1900年间，法国、德国与美国的农学家在个别进行的实验中发现，含铜与食盐的溶液能消灭麦田中的阔叶杂草。

1908年，美国科学家波利（Bolley）宣称：食盐、硫酸铁（iron sulphate）和亚砷酸钠（sodium arsenite）的混合剂能有效控制麦田的杂草，并认为以化学方法克服杂草问

题，能让农民享有巨大的回报。

20世纪初，农民开始广泛应用硫酸(sulphuric acid)、氯酸盐(inorganic chlorates)和砷酸盐(arsenates)等无机化合物来杀灭杂草。然而这些化学品都具有强烈的毒性，牲畜因为人为疏忽而中毒的不幸事件时常出现。为了减少除草剂对生态环境的负面影响，杂草学家在过去五十年里不断探索钻研，以期发展效果优越、施用方便、安全可靠与成本低廉的除草剂。

1941年，美国科学家波克尼(Pokorny)提呈了合成2,4-D(2,4-dichlorophenoxyacetic acid)的技术报告。1944年，其他科学工作者发现2,4-D能有效地灭除蒲公英(dandelion)、车前(plantain)和其他阔叶杂草。2,4-D的生产与应用，开创了化学除草的新纪元。不同类型、不同性能、不同使用技术的除草剂随后纷纷涌现，让农民在防除杂草的工作上，拥有更多的选择。克厉斯尔(Gressel)于1991年指出：全球除草剂的总用量与施用面积，比杀虫剂与灭菌剂的总和更庞大。美国史坦福大学(Stanford University, California)的研究显示：亚洲稻农购买除草剂的费用，从1945年近乎零的低水平，跃升致1996年高达美金10亿元的开销，增长快速，令人惊叹。

灭草作用分为两类

除草剂按灭草作用，可以大略分为两类：

- 非选择性除草剂(non-selective herbicides 或

general weedkillers)。这类除草剂亦称灭生性除草剂，对所有植物都有杀伤作用，因此不论杂草或禾苗，经过接触，都会枯萎凋残。这类除草剂，马来西亚的稻农一般用来控制田垄上的杂草；其中最常见的例子是百草枯（paraquat）和草甘膦（glyphosate）由于这两种除草剂一旦与土壤接触，即刻受到黏土吸附而丧失活性，不再伤害禾苗，因此适用于少耕（minimum tillage）与免耕（zero tillage）的稻田里。

- 选择性除草剂（selective herbicide）。这类除草剂能杀灭稻田中的杂草，然而稻禾却不受伤害。目前，大多数普遍施用于水田里的除草剂，如苯氧羧酸类除草剂（包括2,4-D和MCPA），以及磺酰脲类除草剂（sulfonylurea type herbicides），都属于这类。

施药不当作物受损

除草剂的选择性（herbicide selectivity）是相对而非绝对的。如果施药不当，除草剂也能令作物受损。一个鲜明的例子是：2,4-D钠盐（2,4-D sodium salt）于分蘖后期施用，能有效控制阔叶杂草与莎草，并且不伤稻禾；然而若在稻禾仍未分蘖时过量施用，将使稻株因为药害（phytotoxicity）而枯槁。

选择性除草剂之所以能杀灭杂草却不伤稻作，主要是因为稻作在形态与生理方面与田间杂草有别。由于水稻的叶面角质层（cuticle）和蜡质层（wax layer）较厚，叶片挺

直，面积较小，分生组织（meristem）受到完善保护，因此能够避免接触药剂。反之，许多阔叶杂草叶片面积宽阔平伸，角质层与腊质层单薄，造成药剂吸附量较高，加上幼芽裸露，极易受到药害而损伤。

生理反应的差异，与植物细胞内所含的酶（enzymes）息息相关。水稻对除草剂敌稗（propanil）的耐性（tolerance）比稗草高出四十倍，主要原因是水稻含有一种称为芳香基酰化酰胺水解酶（aryl acylamidase, a hydrolysing enzyme）能将敌稗分解为丙酸（propionic acid）和二氯苯胺（3,4 dichloroanilide）。稗草细胞内缺乏这种能分解敌稗的酶，因此叶片接触与吸收敌稗之后，光合作用受到严重干扰，组织内水分平衡受到破坏而凋萎枯亡。

掌握应用提升效益

选择性除草剂在水田里的施用剂量、时间、位置和方法，也是促使稻作与杂草产生不同敏感反应的因素。因此，正确掌握这方面的资讯，将能大大提升除草剂的效益。

除草剂主要是通过干扰和破坏植物的生理活动来控制杂草。最常见的灭草机制（modes of action）包括以下四种：

1. 破坏细胞膜系统使功能紊乱（disruption of membrane systems）：触杀性除草剂（contact herbicide）如百草枯（paraquat），一旦与植物绿色部分接触，就能于着药后2至3小时内令绿色部分变色发黄，并于3至4

天内全株枯死，主要原因是百草枯除了抑制光合作用的进行，还会产生具有毒性的过氧化氢（hydrogen peroxide H_2O_2 ）和自由基离子（free radicals）。植物叶绿体中能清除过氧化氢的歧化酶（superoxide dismutase，简称SOD），因为无法抵御这些有毒物质的强势攻击，结果叶肉细胞的胞膜受到破坏（loss of membrane integrity of mesophyll cells），叶绿素快速解体，植株亦随之凋萎枯黄。

2. 抑制生长发挥毒杀作用（inhibition of plant growth）：

以这类机制灭草的除草剂，原属植物生长激素（growth regulator），于低浓度时能促进生长，高浓度时却反而令生长受到抑制，结果植物因为体内的生化功能失常而枯槁。2, 4-D就是一个很好的例子，在非常低浓度的情况之下，2, 4-D能使植物的茎部挺伸延长（stem elongation），然而在高浓度时却促使细胞反常分裂（abnormal cell proliferation），根尖膨胀（root tip enlargement）并且丧失吸水吸肥能力，叶片卷缩向下弯曲（epinastic bending），状若鸡爪。由于2, 4-D为内吸传导型除草剂，被植物吸收之后，能传导至根、茎和叶等生长旺盛的部分，植物的茎秆受到扭曲而畸形生长，最后全株干枯死亡。

3. 抑制光合作用消耗贮存养料（inhibition of photosynthetic process）：

以这种机制杀草的化学药剂包括取代脲类（substituted ureas，例如：敌草隆 diuron等），三氮苯类（triazines，例如：莠去津 atrazine等）和酰胺

类 (amides, 如: 敌稗 propanil 等)。光合作用包括了两个连续的化学反应, 即光反应, 又称希尔反应 (light reaction 或 Hill reaction), 和暗反应, 又称卡尔文反应 (dark reaction 或 Calvin reaction)。光反应将水解离后把氧气 (oxygen) 释放出来, 而暗反应则在叶绿体 (chloroplast) 内将二氧化碳 (carbon dioxide) 固定, 合成单糖 (monosaccharide)。敌稗等除草剂能通过抑制光反应, 中断电子传递过程 (electron transfer)。当杂草幼苗已耗尽种子内所贮存的养料, 而必须依靠嫩叶进行光合作用来供应养分的时候施用这类除草剂, 最能发挥出全面灭草效果。因此, 应用敌稗 (propanil) 来控制稗草, 最佳的施药时间是在二叶期, 因为稗草的籽实细小, 胚乳 (endosperm) 内贮存的养分不多, 敌稗对光合作用强烈抑制之后, 稗草无法制造养分, 一旦植株内的养分消耗殆尽, 稗草就枯萎而亡。

4. 干扰有氧呼吸抑制蛋白质的合成 (inhibition of aerobic respiration and protein synthesis): 大部分生物都需要氧来进行呼吸, 而细胞呼吸主要是有氧呼吸。在细胞呼吸中, 每一个葡萄糖分子 (glucose) 在完全氧化后释放 38 个 ATP (adenosine triphosphate 腺苷三磷酸)。绿色植物的细胞在进行光合作用所吸取的巨量太阳能, 以高能电子的形式, 储存于葡萄糖, 再经过有氧呼吸, 转移至 ATP 分子之中。因此, ATP 可以说是细胞的电池。换言之, ATP 是所有生物的所有细胞都能直接使用的能量来源。一个 ATP 分子能释放 76KJ (千焦耳) 的能

量以供生物应用。

新产品不间断涌现

有的除草剂如五氯酚钠 (PCP-Na, 即 sodium pentachlorophenol) 能于线粒体 (mitochondria) 内干扰 ATP 的活动, 使 ATP 的数量锐减。

具有超高效除草功能的磺酰脲类 (sulfonamide) 药剂, 能以极少的单位面积用量 (一般每公顷不超过 30 克) 来达致极高的除草活性 (high herbicidal activity), 其主要杀草原理是通过抑制乙酸乳酸合成酶 (aceto-lactate synthase, 简称 ALS) 的活性, 阻断了 ALS 催化亮氨酸 (leucine, 亦称白氨酸)、异亮氨酸 (isoleucine) 和缬氨酸 (valine) 的生物合成。这些必须氨基酸, 是构成多种蛋白质的基本物质。属于这类除草剂的苄嘧磺隆 (bensulfuron, 亦称便黄隆或农得时 londax), 被杂草根部和叶片吸收后, 能转运至植株各部位, 抑制细胞分裂, 阻止叶部与根部正常生长, 结果幼嫩组织过早发黄, 随后逐渐坏死。这种除草剂能有效控制阔草杂草如鸭舌草和野慈菇, 以及各类莎草。由于磺酰脲类除草剂进入稻株之后快速分解为无毒物质, 因此不伤水稻。

近年来许多高效的除草剂不断在市场上涌现, 因此, 深入了解化学除草的原理和正确的使用方法, 将能更有效地保护水田的生态环境, 促进农业的持续发展, 和改善农村的生活素质。

综合技术体系灭草法

在科技尚不发达的年代，铁锄是农民不可或缺的工具。稻农艰辛地“锄禾日当午，汗滴禾下土”，主要原因就是希望灭除田里严重威胁稻作的杂草。中国的农谚不乏劝勉农民防治杂草的良言，例如：“草是败家王，不锄全田荒”、“虫口一把刀，草口一把剪”、“田间管理要做好，彻底消灭病、虫、草”，都言简意赅。

慕达区共五十七种杂草

国际水稻研究所（IRRI）的文献显示：经常出现于稻田的杂草约三百五十种（*species*），经过分类可以纳入超过一百五十属（*genera*）与六十科（*families*）。在马来西亚的慕达灌溉区（9万7千公顷稻田）里，田野调查发现总共有五十七种杂草，其中以莎草科（*Cyperaceae*）种类最多，高达十二种。其次是禾本科（*Poaceae*），共有十种。最常见的五种杂草是稗草（*Echinochloa crusgalli*）、芒稗（*Echinochloa colona*）、木虱草（又称日照飘拂草 *Fimbristylis miliacea*）、田字草（俗称田字草 *Marsilea minuta*）和鸭舌草（*Monochoria vaginalis*）。

由于稻田的耕作方式不同，地势高低有别，土质与水分分布存在很大的差异，因此杂草群落在数量和组合上往往变化莫测。农民于采纳防治措施之前，有必要认识各种杂草在水田生态中发生的规律，才能够获得事半功倍的效果。

多年积累的生态研究数据一再证实：没有任何单项措施能够一劳永逸灭除稻田里所有的杂草。在马来西亚的水田里，利用稻田深灌的方法可以减少禾本科杂草萌芽生长，却往往造成水生植物（aquatic plants）如野慈姑（*Sagittaria guayanensis*）、大藻（*Pistia stratiotes*）和尖瓣花（*Sphenoclea zeylanica*）广泛蔓延。通过改善灌溉设施能令千金子和盖谷草（*Ischaemum rugosum*）等禾本植物锐减，然而漂浮于水面，叶片基部怀着孢子囊果（sporocarp）的槐叶苹（*Salvinia molesta*）却会顺着水道流入稻田，造成严重的危害。

在菲律宾高地的旱田里，农民以人力拔草的方法，将许多一年生杂草（annual weeds）如野苋（*Amaranthus viridis*）连根拔起，防除效果显著。不过，以同样的方法拔除旱作物耕地的香附子（又称回头青 *Cyperus rotundus*），将造成匍匐茎上的块茎（tubers）滞留在土壤中。一旦适宜的气候条件出现时，新芽会迅速通过营养繁殖（vegetative propagation）自块茎上萌茁。由于没有其他杂草，在这个自然生境中与香附子互相竞取养分和空间，因此只需一两年时间，香附子就遍布于整片旱田。

除草剂的负面影响

农业化学工业从1970年代开始迅速发展，研制了一系列选择性强和杀草谱广的除草剂，解决了稻田里许多棘手的难题。然而，经过长期连续施用同一种或同一类型的除草剂之后，农民惊讶地发现，对除草剂敏感的杂草群体逐渐减少，但是另一些不同种类的杂草群体却突然涌现，取代被杀灭的杂草遗留下来的空间。这种杂草变迁（weed shift）的现象主要由两种因素造成：

- 杂草中有的种属对某些类型的除草剂具有与生俱来的抗性（inherently resistant to certain herbicides）。这些杂草在竞争对手被除草剂消灭之后，趁虚而入，扩张蔓延。许多水田经过长期施用 2, 4-D 之后，易受 2,4-D 控制的阔叶杂草（broad leaved weeds）如鸭舌草和异型莎草（*Cyperus difformis*）快速消失，然而对 2,4-D 具有较强抗性的禾本科杂草，以及田字草与槐叶苹等则逐渐增加。
- 杂草中的突变体（mutant，亦称突变型）在除草剂的选择压力（selection pressure）下获得良机逐渐发展（build-up of resistant strain of a normally susceptible population）。黄建中博士等编著的《农田杂草抗药性》这本书里指出：植物对除草剂的反应可分为三种类型：敏感性、耐药性及抗药性。杂草的群体中存在着频率不同的突变体，在自然环境条件下，这些突变体并不能成为杂草优势种。由于这些突变体在环境适应力

(environmental adaptability)方面并不特出,有时甚至是明显不足,因此在杂草群体中所占的比例不大。然而,如果农民长期施用同一类型除草剂来杀草,在强大的选择压力之下,原本占大多数的敏感性生物型(susceptible biotypes)逐渐受到淘汰。由于杂草群体中能与抗药性突变体竞争的个体被灭除了,造成原本对自然环境适应力不强的突变体,获得生存与繁衍的空间,而且数目日益增加,最终成为杂草群体中的主要组成部分。

抗药性杂草难控制

在慕达灌溉区中部,对2,4-D具有抗药性的木虱草于1989年由生态学家发现。经过深入调查,证实稻农从1975年开始,每个季节都以2,4-D来控制杂草。日本杂草学家渡边博士(Watanabe Hiroaki)的研究显示:这些抗2,4-D的木虱草突变体,能于超过2,4-D推荐药量十六倍的情况下存活;以同样超高浓度的除草剂溶液施用于一般水田,水稻和其他杂草都完全凋萎。

抗药性杂草如果不受到控制,那么,很可能目前以及未来使用的除草剂均会受到局限,不但防治杂草的效益锐减,而且有可能出现无法预测的农业生态危机。

过度依赖除草剂灭草,也会引发其他环境问题。除草剂对土壤和地下水源的污染,以及在作物中残留(herbicide residues)对人类的影响,已受到越来越多关心

环境保育的人士密切关注。菲律宾的研究揭露：稻田附近的水井经过抽样化验後显示，高达24%的地下水含有丁草胺（butachlor）。

施药后身体不舒适

1990年代初期，菲律宾的研究员也发现：苯氧羧酸类除草剂（phenoxyl derivatives）与多种疾病直接关连。这些疾病包括翼状胬肉眼疾（pterygium）、支气管性气喘（bronchial asthma）、肺部病变（pulmonary disorders）、低血红蛋白（low haemoglobin concentration）和多神经病变（polyneuropathy）。与不用苯氧羧酸除草剂的农村对照，常用这类除草剂的农村内，眼疾的发生率竟然超出前者五至七倍。

在马来西亚，约51%慕达区内的稻农在调查中表示曾因使用农药而身体不适，其中24.8%是在施用除草剂后发生，14.7%是因使用杀虫剂而造成。最常出现的不适是头痛和晕眩。

生态学家一再证实：过度依赖化学除草，并且大量使用除草剂，会对稻作带来药害与减少收成。采取单项措施，往往引发杂草群落组合出现变化，使除草剂的效能降低。因此，若欲克服水田杂草，唯有发展综合技术体系（integrated weed management system），营造对稻作有利的生态条件，同时又抑制杂草的繁衍和蔓延。

综合防治法供参考

慕达灌溉区内实行的直播水稻杂草综合防治措施，可供农友作为参考：

- 播种前先诱发杂草，并于杂草种子萌芽后进行机械耙地，或施用广谱触杀性除草剂如百草枯(paraquat)、草甘膦(glyphosate)或 gluphosinate ammonium 等灭除前期杂草，重复这种方式的除草法，在农艺学上称为 stale-seedbed technique 。
- 经过数遍整地之后，尽力回避再次深耕，以防深埋于土壤中休眠的草籽在播种前被翻到土面上。
- 播种前田埂上的杂草必须灭除，以防多年生杂草如膜稗草(*Hymenachne pseudointerrupta*)与红穗野稗(*Echinochloa stagnina*)的匍匐茎蔓延入水田。
- 整地(land preparation)工作必须完善，同一块田面平整均匀，水层覆盖后，寸水不露泥，亦无残梗杂草裸露于水层外。
- 选种必须仔细，以防草籽混杂其间。尽量避免从曾经在杂草蔓延的田里操作的收害机获取稻种。
- 若水供不足，可先采取旱整地方法(dry ploughing)，以旋耕机(roto-tiller)犁松土层，再以镇压法(soil pressing)平整田面，使播种层松紧一致，稻作萌芽均匀。
- 播种密度不宜过高，最佳的密度是每平方米五百株苗左右。若采用分蘖性强的品种，每平方米可保苗三百至四百株。植株密度超过每平方米六百株，后期通风透光

不良，易引发疾病和虫害。

- 在田里掘挖宽一尺左右的小渠道，以利灌溉与排水，小渠道之间相隔4、5米，施肥与施药时可沿着小渠道在田里巡逡。
- 尽快在稻种萌芽不均或缺苗之处，以强壮的秧苗补栽。
- 采用药量适当的除草剂来杀灭杂草。对禾本科杂草的防除，可以选择以下的任何一种除草剂：pretilachlor、thiobencarb、quinclorac、EPTC、molinate、oxadiazon、propanil、fenoxaprop-p-ethyl等。
- 防治莎草科杂草和阔叶杂草，可施用bensulfuron、cinosulfuron、pyrazosulfuron、ethoxysulfuron、metsulfuron、bentazon、2,4-D、MCPA等。
- 控制顽强的碎米莎草（*Cyperus iria*），可采用chlorimuron ethyl + 2,4-D。
- 尽力设法在水稻出苗后，杂草介于二至三叶期间以选择性除草剂进行茎叶处理。有的除草剂如敌稗（propanil）在喷撒前须先将田间积水排除，其他除草剂则须先灌溉，并保持浅水层始施用农药。用药后仍需保水7至10天以提高药效。
- 须先控制虫害如稻蓟马（thrips）之后，才开始施用除草剂，以减低除草剂对水稻的药害作用。
- 须先控制杂草，始施用氮肥，以提高稻作对氮肥的吸收，充分发挥肥料增产效果。
- 避免长期使用同样或同一类型的除草剂，以减少抗药性杂草的出现。

教育稻农在水田里进行科学的观察和研究，掌握各种杂草的传播、生长、繁殖和发生规律，然后根据稻作的生育期，采用恰当的除草方法，配合各项农艺管理措施进行综合防治，肯定能达致禾强穗壮，欢庆丰收。



风稻会引发生态危机

根据中国科学家闵绍楷与熊振民编著的《水稻遗传和品种改良》记载：全球从北纬 53 度至南纬 35 度，从海平面等高线到 3 千米高地均有稻作栽培，主要产区集中在中国、印度和东南亚。曾在国际水稻研究所（IRRI）工作多年的科学家张德慈（T.T.Chang）认为：亚洲栽培稻的野生祖先是多年生的普通野生稻（*Oryza rufipogon*）及其后的一年生尼瓦拉野生稻（*Oryza nivara*）。野生稻在沼泽地带自然生长，茎秆散生或匍伏，花药（anther）发育不全，极易自然落粒（easy grain shattering），种子成熟后即掉落泥里，因此稻穗结实率很低。野生稻与亚洲栽培稻（*Oryza sativa*）血缘很近，粒型与一般的籼稻（indica）相似，而且与籼稻杂交的结实率较高。

马来西亚水稻全属籼稻

野生稻通过漫长的驯化和人工选择，出现大量变异和遗传分化，形成三个亚洲栽培稻的亚种（sub species），即籼型（indica）、粳型（japonica 或 sinica）和爪哇型（javanica）。在马来西亚的水田里种植的水稻全属籼稻。

1988年的第一季稻收割期间，位于马来西亚雪兰莪州西北部的适耕庄（Sekinchan）里，稻农惊讶地发现：只要轻轻抖动，稻谷就轻易地从穗上脱落；这些反常的稻株只要在风中摇曳，或雀鸟憩息于穗上，谷粒就立刻纷纷掉坠下来，因此农民称这种自然变异的稻株为“风稻”（padi angin）。

风稻出现之后，迅速四处蔓延。1990年杪，风稻已传遍整个雪兰莪西北区2万余公顷的稻田。在马来西亚最大的灌溉计划慕达区（Muda area）里，风稻最先于1990年中被研究员发现，随后就不动声色地由南向北逐渐扩张，并于1990年代中期侵入慕达区的中部。到了1990年代末更变本加厉，严重威胁部分位于慕达北端的直播水稻。保守的估计显示：目前整个灌溉区内97,000公顷的水田，不少过2千公顷已因风稻的蔓延而产量锐降。几乎50%的稻农在受访时，确定风稻已出现于他们村庄里的稻田。由于风稻秆茎柔弱，在风雨吹袭之下极易倒伏，稻产每公顷仅获2至3吨，或等于慕达区内平均产量的40%至60%而已。若受影响的稻田不及时采取积极防治措施，稻产往往遽降至极低的水平。田野调查揭露：任由风稻连续四个季节在田里扩散，农民将损失80%以上的收成。

与正常稻作无分别

从秧苗至分蘖期间，风稻与正常的稻作在形态上非常相似，不易鉴别。农民往往到了抽穗期过后，才惊觉田里

遍布着风稻。

一般上，风稻具有以下数种形态特征：

- 茎秆纤长 (long culm)
- 谷粒短小 (short grain)
- 谷壳有褐斑 (pigmented grain)
- 果皮有斑点 (pigmented pericarp)
- 谷粒有芒 (awned grain)
- 稻穗散生 (open panicle)
- 脱落性强 (easy grain shattering)

由于风稻之间的杂交，基因的相互传递造成分离现象 (segregation)，因此风稻所表现出来的性状复杂多端，并且呈现出不同程度的明显差异。

以上的各种风稻特征，亦出现于普通野生稻，因此，不少杂草学家相信风稻与野生稻之间具有密切的关系。

究竟风稻如何形成呢？

要了解这个哑谜，就必须从植物叶子和果实的脱离现象 (abscission) 谈起。

当叶子衰老或果实成熟后，在叶柄和果柄基部有一层细胞不断进行分裂，最终形成数层微细的薄壁细胞，并于细胞间的中层逐渐形成黏液体 (slime body)，将细胞分离，这层结构称为离层 (abscission layer)。离层的形成由一种植物激素脱落酸 (abscisic acid) 操控。离层抑制了水分和养分的供应。叶子和果实在风中摇摆时，机械作用造成离层断裂而纷纷坠落。风稻的离层形成得特别早，并且

容易断裂，因此谷粒一边成熟一边落粒，还来不及收割，已掉落满地，残存于穗梗上的谷粒，待到收获时已所剩无几。

主要演化自栽培稻

科学家通过聚合酶链反应(polymerase chain reaction，简称PCR)来分析风稻的DNA后，作出的最初结论是：马来西亚的风稻主要演化自栽培稻。风稻的形成可能沿着两道不同的途径进行：

- 控制落粒的基因出现自发突变(spontaneous mutation of the gene [s] controlling shattering)
- 两个栽培稻的品种杂交后在选择过程中偏向易落粒的稻型(hybridization between two varieties and subsequent selection favouring the shattering type)。

通过苯酚反应(phenol reaction)，科学家发现风稻可能源于同时具有籼稻与粳稻遗传因素的栽培稻。在马来西亚过去栽种过的稻种之中，马苏莉(Mahsuri)是由来自台湾的粳稻(Taichu 65)与本地籼稻(Mayang Eboss 80)杂交培育而成。马苏莉于1970年代期间广受农民欢迎，这个稻种在打谷时极易落粒(easy threshability)，而且谷壳上有斑点，与一些风稻在形态上相似。

风稻主要出现于直播水田里，特别是因缺水而任由自生稻(volunteer seedlings)萌芽自上季收割时掉落地面的谷

粒。自生稻的遗传背景复杂和表现异源(heterogeneous)，很容易引起基因异常现象的发生，而脱落性强的风稻很可能通过自生稻之间基因互换而形成。

干田直播蔓延快速

除了自生稻之外，干田直播(dry seeding)的田里，风稻蔓延的问题也比湿田直播(wet seeding)严重。

风稻已成为直播稻田中严重威胁栽培稻的杂草，唯有采用综合杂草防治措施，才有可能减低风稻的破坏。

以下数项措施经过实验证明能减少风稻的侵害：

- 以拖拉机操控割碎机(shredder)将收割后的稻秆切成细片，并且均匀分布于田面，然后放火焚烧稻秆。烈火能将田面的风稻烧毁，同时高温能刺激土里的风稻萌芽。
- 进行机械耙地，整平田面，诱发风稻萌芽。当风稻与自生稻长到三至四片叶时，施用广谱触杀性除草剂如 glyphosate 或 glufosinate 将风稻幼苗摧毁。
- 若风稻问题严重，应在积水约 5 至 8 厘米的田里施用 pretilachlor (即 Sofit)，并保留水分于田里 7 天，始将积水排出。
- 再次灌水入田，保持 7.5 至 10 厘米的积水，然后将经过催芽的谷种以水播法(water seeding)均匀撒播于水田里。
- 农民亦可以采用移栽法(transplanting)，先在秧田育苗，然后在水田里插秧。

- 无论采用水播法或移栽法，都必须确保谷种不受风稻掺杂而减低种子纯度。
- 人工拔除不纯种稻禾（off-types），并且于抽穗后将所有异型的稻穗割除，以防风稻趁机结实。

未来恐变稻田祸首

根据慕达区的经验，一些稻农以成熟期较短（85至95天）的稻种在遭受风稻影响的田里播种，以期于风稻未脱落之前即进行收割。这种方法在刚采用的时候确能减少风稻造成的损失，然而持续多个季节之后，风稻通过选择压力（selection pressure）出现变异，脱落现象也随之而更早出现。

在适耕庄，研究员也发现：持续多个季节以人工割除高秆的风稻之后，残存的风稻开始产生变异，并且出现拟态现象（mimicry）。这些风稻与广泛种植的MR84号稻种在形态上极为相似，唯一的差别是前者的谷种于收割前即开始脱落。

市场上出售的萌芽抑制剂（sprout inhibitor），如maleic hydrazide，简称MH，是一种植物激素，若正确使用，能减低风稻的萌芽率，然而若使用不得法，反而会造成稻穗的能育性（fertility）下降，秕粒（empty grains）增加，减低收成。

风稻很可能于未来取代其他禾本科杂草，如稗草和千金子，成为直播水田里最严重的草害。由于拖拉机与联合

收割机能造成风稻四处传播，因此唯有通过农民集体合作，共同采纳综合杂草防治，才有办法防止这场生态灾难的发生。



风稻的谷粒一边成熟一边落粒，收获时已所剩无几。



受到风稻严重侵害的稻田，高秆的风稻几乎完全掩盖较矮的栽培稻。

水稻的主要虫害与防治

自从人类开始由狩猎和采集逐渐过渡到耕耘种植，由依赖大自然的恩赐转变为向大自然探求和索取之后，人类改造自然的活动，对农业生态环境中千变万化的生命形式，引起了重大的作用和深远的影响。最明显的例子是：自从沼泽丛林转化为稻田阡陌之后，各种各样的生物也开始迁徙入水田，与水稻一块儿生长繁衍。生物学家估计，在整个耕作季节里，出没于各地区水田里的节肢动物（arthropod）如昆虫与蜘蛛等，总数可能高达五百多个种类。虽然水稻的每个部分，从根、茎、叶、花、穗、米都可能受到害虫侵袭，然而真正威胁稻作的害虫，只占了各种水田节肢动物中的一小部分而已；其余的不但对稻作无害，反而因为生物种群间的相互制约，令害虫的数目处于无法造成经济损失的低水平，并能确保稻作茂长。

蓟马侵袭日益严重

根据中国科学院动物研究所1975年的报导：已知的稻作害虫有二百五十多种，某些年分或局部地区为害较重的有二十八种，其中普遍发生且为害严重的害虫仅有六种。

在马来西亚的水田里，近年来最常出现的害虫是：蓟马 (thrips)、稻螟 (stem borers)、褐飞虱 (brown planthoppers) 和椿象 (stinkbugs)。

蓟马能伤害秧苗、花器和穗粒。出现于马来西亚水田里的稻蓟马 (*Stenchaetothrips biformis*) 过去一般只侵入秧田为害。然而，随着双季稻的引介，以及稻田耕作由插秧法改变为直播法后，水稻在本田 (main field) 内由幼苗至分蘖初期皆可能受蓟马侵袭，并且还展现日益严重的趋势。

蓟马的虫体细小，一般而言体长仅 1 至 2 毫米而已，体色褐黑，状如幼蚁，头部呈长方形，触角有节。前翅灰褐，翅缘有长缨毛，具有锉吸式口器，能刮破稻叶表皮，吸取汁液。

蓟马通过不完全变态 (incomplete metamorphosis) 完成生命历程，因此一生只分为卵 (eggs)、若虫 (nymphs) 和成虫 (imago or adults) 三个阶段。

雌成虫有趋嫩绿幼叶产卵的习性。卵产于稻叶脉间的表皮 (epidermis) 下，卵乳白色，呈肾脏形。每只雌虫一生平均产卵五十至六十粒，卵期约 4 至 6 天。

卵孵化为若虫之后，经过四龄 (4 instars) 始变成虫。若虫在形态上与成虫相似，主要差别是若虫无翅，体色乳黄。若虫期约 8 至 10 天。

成虫与若虫皆惧光，因此白天多藏身于稻苗的卷叶内。秧苗从二叶期开始就常受蓟马为害，进入四、五叶期时，若虫盛孵，为害最严重。蓟马先聚集于幼苗叶尖吸食

汁液，造成白斑，并使幼叶两侧向内卷曲，然后逐渐枯黄。这时若稻农施用除草剂，幼苗往往会因药害而无法复原，最终萎缩死亡。

在马来西亚，蓟马最常出现于直播水田里，尤其是干田直播(dry seeding)受到的侵害最严重。由于在干燥的田里，蓟马终日隐伏于卷叶内，主要天敌如瓢虫、田间小黑蛛和花螯等无法捕食或吸食匿藏其中的蓟马。因此若要增强抑制作用，必须改善灌溉设施，在田内保持浅水。若天敌数目不足，可以施用对天敌较安全的灭虫剂如 cartap hydrochloride。在蓟马为害较烈的田里，可于施用农药后再放氮磷钾混合肥，以促进稻苗快速复青和长出新叶。

水稻螟虫分三种类

水稻螟虫俗称钻心虫或蛀心虫(stem borers)，在马来西亚常见的有三种，即三化螟、二化螟和大螟，均属鳞翅目(Lepidoptera)。

三化螟(yellow stem borers, *Scirpophaga incertulas*)的成虫为小飞蛾，雌成虫体长约12至14毫米(mm)，翅展约24至27毫米，全身乳黄色，前翅淡黄，中央有一个显眼的小黑点。复部末端生有一簇灰棕色绒毛。雄成虫体长略小，前翅淡灰褐色，中央小黑点较模糊。

雌虫产卵于稻叶上半部的反面，卵块呈椭圆形，覆盖着棕黄色茸毛，状若半粒生霉的黄豆。卵块内含有百余粒分层排列的幼卵。

虫卵于4至5天后孵化为幼虫(larvae)，刚孵出时，体色灰黑。在马来西亚，幼虫一生共蜕皮五次，每蜕皮一次增加一龄，因此三化螟一生共有五龄。由二龄开始，幼虫体色逐渐变为淡黄色，成熟幼虫体长约14至20毫米，呈圆筒形，幼虫期约32至35天。幼虫能蛀食稻茎，在苗期和分蘖期造成枯心苗(dead heart，马来语称为mati pucuk)，在孕穗期造成白穗(white head，马来语称为bulu ayam)。幼虫在稻根附近化蛹(pupa)。蛹褐色，长约10至13毫米，呈圆筒形。蛹期约8至9天，羽化之后，蛾破膜而出，完成了由卵期、幼虫期、蛹期、成虫期这四个完全变态(complete metamorphosis)的生命阶段。

二化螟(*Chilo suppressalis*, striped stem borer)的雌成虫体长12至15毫米，翅展20至28毫米，前翅黄褐色，外缘有七个小黑点，腹部末端无绒毛。

雌成虫产卵于距叶尖1至2寸的叶面或反面上，卵块像鱼鳞，内含约百粒扁平虫卵。卵期约4至6天，幼虫有五龄，腹部背面有五条棕褐色纵线。蛹圆筒形，约10至12毫米长，棕色，化蛹于稻茎内。雌虫羽化后1至2天即能交配产卵。

大螟(*pink stem borers*, *Sesamia inferens*)的雌成虫体长12至15毫米，翅展25至30毫米，前翅灰黄色，翅中有一条深褐色条纹。卵呈扁球形，排列成二至三行，约四十至六十粒。产于叶鞘(leaf sheath)内侧接近叶耳(auricle)的部分。幼虫有五龄，微紫红色，体形较三化螟与二化螟的幼虫粗壮，蛹亦较大，约13至18毫米。

各种螟虫侵入稻茎之后，皆留下蛀孔，茎内含蛀屑与虫粪。

螟虫的天敌有数十种，常见的有赤眼蜂（*Trichogramma* spp）、黑卵蜂（*Telenomus* spp）与茧蜂（*Apanteles* spp）。这些天敌喜在新鲜的螟虫卵内寄生，其寄生率有时高达90%以上，因此能对稻螟的发生起了强劲的控制作用；误用农药往往杀害大量自然天敌，造成水田生态失衡。为了增强综合防治，施药时期必须根据预测和预报（surveillance and forecasting），以高效低毒杀虫剂 cartap hydrochloride 或 fipronil 来治虫，效果最显著与安全。

褐飞虱能传播病毒

褐飞虱是刺吸水稻汁液的害虫，飞虱的若虫与成虫以针状刺吸式口器，刺入水稻叶鞘与茎秆组织内吸食营养，影响水稻正常生长，并且可能传播病毒（virus）。在马来西亚，褐飞虱（brown planthopper, *Nilaparvata lugens*）的威胁远远超越白背飞虱（whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera*）。

褐飞虱的成虫可分为两种类型，即长翅型（macropterous）与短翅型（brachypterous）。长翅型的雌成虫比雄成虫大，体黄褐或褐黑色，体长连翅约4.2至4.8毫米，具远距离迁飞能力。短翅型成虫不能飞，只能跳跃与爬行，寿命较长，繁殖力强，雌虫一生能产卵二百至七



百粒，平均三百五十粒，多数产于叶鞘肥厚部分的脉间，卵粒排列成串，称为卵条，内含四至十粒卵，卵形前期如丝瓜，后期如弯弓，卵长约 0.8 至 0.9 毫米。

一般短翅型成虫的产卵量平均比长翅型成虫多了二百粒，并且能于羽化为成虫 2、3 天后即开始产卵。在热带，虫卵于 7 至 9 天孵化为若虫。褐飞虱的若虫共有五龄。这些体长约半粒米的若虫，喜匿藏于稻株基部，遭遇惊动则迅速爬行至稻株背面，或跃入水面飘浮，然后跳回稻株上。褐飞虱生长发育的最适温度为 26℃ 至 28℃，因此地势低洼，长期积水，排水不良，密集种植，氮肥过量，封行过早，湿度过高，行间不通风，稻叶茂盛苍翠，皆能营造适合褐飞虱生殖繁衍的有利环境。

强调抗虫品种选育

在温带，一般的若虫历期为 16 至 32 天，在热带地区则只有 12 至 15 天。羽化之后，褐飞虱的成虫在马来西亚的寿命为 12 至 18 天。成虫的耐饥力特强，能于缺乏食物的情况下存活 3 天。通常在抗性稻种上，褐飞虱的食量减少，发育缓慢，死亡率亦偏高。

白背飞虱在形态与习性方面与褐飞虱相似，主要区别是白背飞虱成虫背部中间黄白色，两边淡灰色；而褐飞虱则全部褐黄或褐黑色。

褐飞虱在吸食稻汁时，破坏维管组织 (vascular tissue) 并从唾液腺 (salivary glands) 分泌有毒物质，能传播草丛

矮缩病毒(grassy stunt virus)与齿叶矮缩病毒(ragged stunt virus)。

褐飞虱对水稻的侵袭，一般多从田边开始，随后扩散至整片稻田。受害的稻叶植株低矮，叶片枯黄，最后稻茎基部逐渐变棕褐色，整株干枯倾斜，倒伏瘫痪。被破坏的稻田常常在田间出现黄塘或凹塘，这种现象俗称“虱烧”(hopperburn)。在大暴发时，黄塘遍布全田，仿佛被火烤焦，完全荒枯，颗粒无收。

大面积的综合防治，必须强调抗虫品种的选育，善用天敌，加强预报，合理施肥和科学用药。在马来西亚，高效低毒的治虱农药包括Buprofezin, Buprofezin + Isoprocarp 和 Imidacloprid 等。

稻田中蟊象最常见

在各类蟊象中，以大稻缘蟊(rice bug, *Leptocorisa oratorius*)最常出现于马来西亚的稻田。大稻缘蟊与稻蓟马和稻飞虱一样，皆通过不完全变态生长繁殖。

大稻缘蟊的雌成虫产卵于稻叶或稻穗上。虫卵排列成单行，每行约五至十四粒卵，每只雌成虫一生能产二百至三百粒卵。卵黄褐色，直径约1.2毫米。卵期约6至9天。

缘蟊的若虫共有五龄，若虫期介于15至30天，一般为黄绿色，无翅，稍受惊动即跳动遁逃。

成虫体长约14至18毫米，体形细长，体色茶褐中微带黄绿，触角细长，共有四节。虫足细长，虫体有强烈恶

臭。

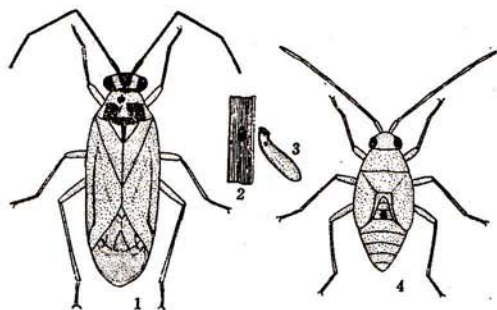
若虫与成虫常于灌浆期 (milk stage) 和乳熟期 (soft dough stage) 集聚与稻穗上, 以针状口器 (needle-shaped mouth part) 从稻粒颖壳, 即外稃 (lemma) 与内稃 (palea) 相合处插进, 刺入胚乳 (endosperm), 吸食汁液, 造成秕谷, 影响产量; 被害谷粒上出现黑点, 降低米质。

大稻缘蝽除了为害稻穗之外, 也能侵害其他禾本科 (Poaceae) 作物和豆类植物。

在马来西亚的慕达区, fenthion 和 alpha cypermethrin 在治理蝽象时, 效果良好。

为了降低虫害造成的损失, 农民在施用化学农药时必须兼顾生物防治, 加强预测预报工作, 准确掌握防治时期, 以经过改进的施药方法防虫, 提高水稻单位面积的产量。

黑肩绿盲蝽 (益虫) 是褐飞虱的天敌, 对害虫具有持久控制能力。



1. 成虫 2. 稻上的卵痕 3. 卵 4. 第五龄若虫

稻纵卷叶螟并非严重害虫

稻纵卷叶螟 (rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis*) 有好几个俗称，有的稻农因为稻禾受到侵害之后，全田上部稻叶一片枯白，所以称稻纵卷叶螟为白叶虫。有的农民因为幼虫的胸腹部呈黄绿色，所以称之为小青虫。马来稻农一般称稻纵卷叶螟为摺叶虫 (ulat lipat daun)。

天敌繁多害虫少见

1980年代之前，马来西亚的农民主要以移栽法种植水稻，灭虫剂的用量不多，加上地处热带，气候温暖和雨量充足，稻田里的生态系统展现高度的物种多样性 (biodiversity)，天敌的种类繁多，能使害虫密度处于低水平，数量无法上升，因此稻田虽有稻纵卷叶螟，但是很少出现严重破坏。

1980年代之后，由于国家积极推行工业发展，农村劳动力向城市迁移，造成农业劳工短缺，工资不断上涨。稻农为了应变，开始广泛采纳节省劳力的直播法。由于播种密度高，稻作冠层浓密 (thick canopy)，非常适宜稻纵卷叶螟大量繁衍，结果周期性的危害日益普遍。



稻纵卷叶螟通过完全变态（complete metamorphosis）完成生命历程，螟虫的一生必须经过卵、幼虫、蛹和成虫四个虫期。

雌成虫产卵于叶片上，有时单颗，有时五、六颗并列。卵粒产于夜间，不过多数于上午孵化。卵只有缝衣针孔大小，平均长约1毫米，宽0.5毫米，呈椭圆形。初产时乳白色，卵壳光滑透明。在日光照射之下，卵色逐渐变成淡黄或微红。卵于孵化前浮现小黑点，并于卵壳上展现网纹。卵的历期在马来西亚的稻田约4至5天，孵化率因气候而异，湿度与温度适中时可高达90%，若遇高温和亢旱则锐降至30%。

五龄幼虫食量最大

幼虫初孵时体长仅1至2毫米，头部及第一节背部褐黑色，其他部分为黄绿色。

幼虫一般五龄（5 instars），每蜕皮一次即增龄一次。一龄幼虫一般不吐丝结苞，其他各龄幼虫皆能吐丝将叶片两边缀合，卷摺成管状，或将叶尖朝叶面卷折，然后匿藏其间，嚼食叶肉，使叶面呈白点状或白色条纹，卷叶内通常虫粪充塞。幼虫由三龄开始食量大增。其中以五龄幼虫食量最大，约占幼虫期总食量的50%以上。五龄幼虫体长一般15至20毫米，行动敏捷，卷叶若受拨弄，幼虫迅速爬行而出，跃落水面。

幼虫的历期常因气候影响而变异。在热带地区，高湿

高温有利幼虫成长，一般只需 14 至 16 天，即能吐丝结茧化蛹（pupation）。

蛹（pupa）呈圆筒形，末端略尖，体长约 8 至 12 毫米。化蛹初期，体色淡黄，随后渐呈黄褐色或红棕色。稻纵卷叶螟化蛹于隐蔽之处，多数在水稻基部的枯黄叶鞘（leaf sheath）内侧，或密集的稻株之间。蛹的历期在热带地区约 7 至 9 天；在温带地区，越冬蛹的历期可长达 180 天。

成虫一般于夜间羽化，破茧而出的小飞蛾，体长约 8 至 10 毫米，翅展（wing-span）约 16 至 19 毫米。前翅灰黄色，略带光泽，其上有两条明显的黑褐色横纹，中间有一条短纹，亦呈黑褐色。前翅的前缘与外缘有黑褐色宽带。后翅也有两条黑褐条纹，与前翅的横纹相接。成虫静息时，前后翅舒展于背部两侧，呈金字塔形。

成虫白天栖息于稻丛基部荫蔽处，夜间则四处飞翔、交尾和产卵。成虫具有趋光、趋密和趋绿的特性。雌成虫一生能产四十至二百粒卵。成虫寿命短，一般为 4 至 5 天，最长约 12 天而已。

卷叶出现明显白斑

稻纵卷叶螟对水稻的破坏，皆由幼虫造成。一条幼虫由三龄至五龄期间，可侵害五至九片稻叶，一般幼虫在卷叶内吃了 25% 至 50% 的叶片之后，就会迁移至另一片新叶找寻食物，因此，当卷叶出现明显的白色斑条时，幼虫往往已饱食远去，毫无踪影了。

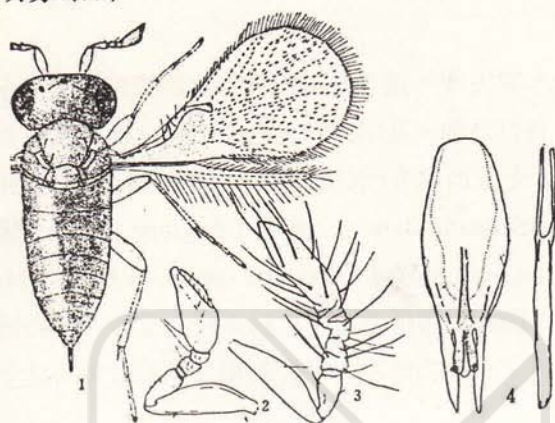
由于稻纵卷叶螟的危害征状非常明显，许多稻农往往在稻叶稍露白斑时就迫不及待地喷药。根据国际水稻研究所（IRRI）的田野调查：菲律宾的稻农所施用的杀虫剂，每季首次用药期间，77%是在移栽后30天内进行。这些杀虫剂的目标害虫（target pests），以食叶性的稻纵卷叶螟为主。稻农使用的绝大部分是广谱性剧毒杀虫剂如甲基对硫磷（methyl parathion，亦称甲基一六零五）、久效磷（monocrotophos）和硫丹（endosulfan）。这些杀虫剂具有胃毒（stomach poison）、触杀、熏蒸等多种杀虫作用，并且对人畜有高毒作用，使用时不够安全。

许多稻农也觉察到，以广谱性剧毒杀虫剂控制纵卷叶螟之后，往往导致褐飞虱在孕穗期前后的再爆发（resurgence），早期用药也使稻作在生长后期面对稻纵卷叶螟卷土重来的风险。

为什么早期用药反而会增加后期虫害爆发的机率呢？

原来水田里有许多益虫在繁衍和活动，这些水稻害虫的天敌（natural enemies）是自然界的宝贵生物资源。天敌对水稻害虫具有持久控制的能力，可有效地压低害虫密度，减少危害和损失。

稻螟赤眼蜂



1. 雌蜂 2. 雌蜂触角 3. 雄蜂触角
4. 雄蜂外生殖器（图仿）

拟环狼蛛在稻田捕食褐飞虱。



蜘蛛是褐飞虱天敌

昆虫学家发现，褐飞虱与稻纵卷叶螟的天敌，在东南亚地区计有百余种，其中蜘蛛是稻田中捕食褐飞虱最重要的天敌。马来西亚的水田里常见的蜘蛛是拟环狼蛛（*Lycosa pseudoannulata*）、金蛛（*Argiope* spp）、蟾蜍（*Tetragnatha* spp）、猫蛛（*Oxyopes* spp）、巢蛛（*Clubiona* spp）等。中国湖南省师范学院生物系研究显示：当蜘蛛与害虫之比在1:10的情况下，控制褐飞虱的效果可达77%至88%。

至于稻纵卷叶螟的天敌，根据卡安（Khan Z.R）等的统计，全世界共记载了稻纵卷叶螟的天敌一百八十九种。与水稻的其他几种主要鳞翅目（Order Lepidoptera）害虫如二化螟与三化螟等相比，稻纵卷叶螟的寄生性天敌种类最多。以寄生蜂为例，全世界共有一百零三种，中国七十六种，马来西亚十九种，菲律宾和日本各十五种，其中稻螟赤眼蜂（*Trichogramma japonicum*）为稻纵卷叶螟卵期的主要优势种寄生蜂，而稻纵卷叶螟幼虫期的寄生性天敌是绒茧蜂（*Apanteles cypris*）。这些天敌对控制稻纵卷叶螟起着非常重要的作用，卵和幼虫的寄生率均可超过50%。如果稻农在播种或插秧后30至40天内见虫就下药，以及长期无限制地施用广谱性剧毒杀虫剂杀伤天敌，很可能引起最主要的水稻害虫如褐飞虱等猖獗成灾。

也能在杂草上取食

此外，稻纵卷叶螟能在稗草、李氏禾、雀稗、狗尾草和千金子等杂草上取食，因此虫源众多。稻纵卷叶螟能够远距离迁飞，主要虫源可能来自外地。如果在水稻生育前期盲目用药，造成天敌数目锐减，由外地迁飞而来的稻纵卷叶螟不受天敌制约，大量繁殖，往往在水稻出穗期间侵害剑叶（flag leaf）及其下的二、三片叶。

昆虫学家发现：作物被害虫侵袭受到伤损之后，在自然生态环境中，具有一定的补偿能力（compensation abilities）。据北京农业大学剪叶和遮光处理试验结果证明，稻株最后三片叶对灌浆结实（grain filling）起决定性作用，尤以剑叶影响最大。当剑叶严重被害受损之后，稻株的补偿作用主要是由倒二叶及倒三叶承担。水稻被稻纵卷叶螟侵害以后，表现出很强的自然补偿能力。国际水稻研究所与中国科学家长期试验的结果证明，水稻能够耐受多达每百丛四百条幼虫（400 larvae per 100 hills）的取食危害仍然不会蒙受产量损失。当剑叶受害时，同一稻株的第二片叶有比对照更高的干物重（+12%）、光合强度（+100%）和呼吸强度（+43%）。这些生理变化具有产量补偿的作用。日本学者 Miyashita 证明，分蘖期植株 67% 叶片受损不会造成任何产量损失。为了证实水稻具有补偿作用，慕达农业发展局（MADA）于 1990 年代初期在农民的水田里进行人工剪叶实验，由农民亲自将萌芽 30 天后的叶片在实验田里剪除 25%、50%、75% 与 100%。50 天

之后，所有经过叶片剪除的稻株几乎完全恢复原状。经过剪除75%叶片的稻株与不经叶片剪除的稻株对照后，谷产无明显差异。

卷叶螟袭慕达稻田

在马来西亚的慕达灌溉区，2002年第一季稻于5、6月间曾受到稻纵卷叶螟非常严重的侵害，有的水田里稻作全面灰白。虫害过后，稻农施用适量化肥促进水稻复原。收获时他们欣然发现受侵袭的稻作产量无减，有些稻农甚至获得每公顷超过7吨的收成。

以上的研究结果与田野观察，一再证明稻纵卷叶螟对稻作的危害，并非如传闻那般严重。在绝大多数情况下，减少施用杀虫剂不但对稻谷产量毫无影响，而且还能避免后期虫害如褐飞虱的再爆发。降低用药次数和用药量，也同时减少对环境的污染，为高效、优质和低耗的稻米生产作出积极的贡献。

水稻主要病害与防治

人类会因为水土不服或疾病感染而消瘦衰颓，植物也一样，会因为土壤、水分含有超量的盐硷成分或有毒物质而生理失调，也会因为病原体(pathogen)侵染为害而衰弱枯萎。

青绿稻叶转为黄化

许多稻农深感困惑不解，为什么当田里的稻叶出现黄化现象(chlorosis)而赶紧追施氮肥，有时水稻会迅速由黄转绿，并且蓬勃生长；有时反而弄巧反拙，造成水稻全株发黄，叶面上褐斑浮现、扩散，严重时甚至萎缩凋残。

要解开这个疑团，就必须先探索稻叶变黄的原因。如果稻禾因为缺乏氮素(nitrogen)而叶色明显落淡呈黄，那么补肥能使稻株挺健强壮，恢复正常。反之，如果稻禾因为受到病原生物侵袭而黄瘦不发，补肥反而会令病情进一步恶化。原来水稻本身具有多条防线，可以尽量减低疾病的侵染。禾本植物的叶片由表皮(epidermis)覆盖，表皮细胞外壁较厚，有表皮茸毛(trichomes)以及角质层(cuticle)，能防止水分散失，也能阻挡病菌的侵害。一旦



病菌突破了水稻的第一道防线，进入叶肉之后，稻株里的厚壁组织（sclerenchyma）能抑制薄壁组织（parenchyma）中的病菌扩散。由于病菌在蔓延的过程中，非常需要营养的供给，因此，植物在感染疾病的部分呈现局部变黄，能够切断养分的补给线，从而阻碍病菌的繁衍。如果在植物染病后大量补肥，无形中增强了病菌的战斗能力，并且加速对稻禾的伤害。

水稻病害流行的主要因素，是大面积栽植高度易染疾病的品种（highly susceptible varieties），为致病力强的病原生物提供大量繁殖和扩展的有利条件。此外，环境条件如土壤、气温、雨量、光照和气流也能左右病原生物的传播。

根据病理学家的估计，能够侵染水稻的病原生物约二百四十余种，其中以真菌病（fungal diseases）最为普遍。其他病原生物包括细菌（bacteria）、病毒（virus）和线虫（nematodes）。在马来西亚，曾经严重危害稻作，并且在生产上造成损失的水稻病害是稻瘟病、稻纹枯病、稻白叶枯病和东格鲁病毒病（红稻病）。

控制稻瘟病最成功

稻瘟病（rice blast）亦称稻热病，是由真菌感染的主要病害。稻瘟病在热带通常由属于不完全菌类（imperfect stage，亦称无性阶段）的病原菌 *Pyricularia oryzae* 寄生引起。这个病原菌完全阶段（perfect stage，亦称有性阶段）

的学名是 *Magnaporthe grisea*。

稻瘟病是稻作历史上最早有文献记载的病害，中国的宋应星于1637年著的《天工开物》这本书里已记载了稻瘟病的出现。中国的文献说明稻瘟病的发生流行一般是山区重于平原，粳稻重于籼稻。广东省于1950至1981年就曾出现过六次稻瘟病大流行（blast epidemic）。严重的大流行发生时，稻田往往减产40%至50%，重病的稻田里甚至颗粒无收。

在马来西亚，稻热病在1944年第一次出现于农业文献中。马来半岛北部的慕达灌溉区曾于1979年受到稻瘟病侵害，造成220公顷秧田里的禾苗全部死亡。1980年代初期，MR 1号的高产稻种受到严重侵袭，数千公顷的稻禾受到破坏，其中约25公顷的水稻面对80%的损失。

水稻从萌芽期到成熟期，整个生育历程都有可能蒙受稻瘟病的感染。稻瘟在水稻的不同部位发病而表现出迥异的症状，一般可分为苗稻瘟（seedling blast）、叶稻瘟（foliar blast）、节稻瘟（nodal blast）、穗稻瘟（panicle blast）和粒稻瘟（spikelet blast）。

稻瘟病菌以两种形态出现：一是菌丝（hypha）组合而成的菌丝体（mycelium），二是分生孢子（conidiospore，亦称 conidium）。分生孢子形状如慈姑，基部浑圆，顶端尖突，无色透明，体型非常细小，只在显微镜下现形。孢子生在附于菌丝的分生孢子梗（conidiophore）上，随风飘扬，降落稻叶之后，只要获得一点点的水分，再配合90%以上的相对湿度（relative humidity）与10℃至35℃的温度

(最适宜的发育温度为 25°C 至 28°C)，就开始发芽，然后穿透水稻的表皮，进入内层组织，形成四处扩散的菌丝，贪婪地从水稻的细胞中吸取养分。分生孢子钻入的地方于 4 至 8 天后逐渐形成病斑。病斑在形成初期只是暗绿色的小点。随着附近的细胞受到破坏死亡，病斑逐渐扩大，变成菱形斑点 (spindle-shaped lesions)。病斑中部呈灰白色，边缘呈褐黑色，通常外围会出现橙黄色的晕圈。在温度和湿度适宜的情况下，孢子大量产生，继续传播病害。

日光的照射能对孢子的形成与入侵起抑制作用，因此阴霾的天气能加剧稻病的侵染。此外，孢子在缺氧时不能萌发，所以在有水淹没的秧田里，稻苗较少受到稻瘟的伤害。稻热病的菌丝能在田间的草堆上存活七至八个月，在埋入泥中的带病稻草，菌丝与孢子能存活两个月。

马来西亚是控制稻热病最成功的国家之一。马来西亚农业部所推荐的 MR 系列稻种，大部分对稻热病具有抗性。MR 系列中，只有早期的 MR 1 号、MR 71 号与 MR 73 号曾发生问题。由于粳稻较籼稻易感稻瘟病，因此，以籼稻为主的马来西亚，远较种植粳稻的国家如日本和韩国，更有潜能培育出对稻热病具有高度抗性的品种。

1998 与 1999 年间，雪兰莪州的适耕庄、霹雳州的冷闻与玻璃市州的淡文都浪 (Tambun Tulang) 区，大面积种植由台湾引进的香稻品种之后，由于香稻对稻热病缺乏抗性，加上稻禾抽穗期间阴雨连绵、日照不足、田间相对湿度高，结果出现稻瘟病大流行。农业部为了防止稻瘟病继续肆虐，并且为了控制病原生物通过突变 (mutation) 产生

目前，马来西亚稻农施用的灭菌剂中，difenoconazole、flutolanil、pencycuron、azoxystrobin皆疗效显著。

稻白叶枯病两种病征

稻白叶枯病 (bacterial leaf blight, 简称 BLB) 是一种细菌引发的病害，病原菌的学名是 *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*。这种单根极鞭毛杆菌 (monotrichous polar flagellated bacillus) 生长的最适温度是 28°C 至 30°C，低于 10°C 或高于 35°C，均无法繁殖。

在马来西亚，稻白叶枯病于 1960 年代初期曾危害水稻，并于 1994 年在慕达区内发生大流行，约 6 万 8 千余公顷的水稻受到侵染，其中以 MR 84 号稻种的病情最严重。

稻白叶枯病的病菌从稻叶的水孔 (hydathode, 亦称排水器) 或伤口侵入发病。病菌也能潜伏于颖壳 (glumes) 内随着种子传播。白叶枯病表现两种病征，一是枯叶型，二是凋萎型。枯叶型病斑通常从叶尖开始，沿着中脉或叶缘向下扩展，病斑呈灰白色，界线清晰，偶尔出现波浪形的橙黄病斑，最常见的是暗绿色水渍状条斑 (water soaked linear lesions)，其后病叶逐渐枯槁。病斑上有乳黄色菌脓 (bacterial ooze) 溢出，干后结成蜜黄色圆珠体。

凋萎型病害 (Kresek) 是因体内侵染 (systemic infection) 而发生。一些植物病理学家相信拔秧造成伤根与凋萎型白叶枯病侵染有关。病株心叶最先出现卷叶青枯病

而杆状病毒则只有脱氧核糖核酸 DNA。

球状病毒能由黑尾叶蝉单独感染稻株，而且症状一般轻微。在日本，球状病毒单独感染能引发水稻矮化病。

杆状病毒恰恰相反，不能单独通过叶蝉作为媒介传播，而必须与球状病毒并存时，才会促使虫媒传毒与造成稻株染病。

受到东格鲁病毒感染的水稻，叶片会呈橙色或橙黄色。颜色的变异先于叶端出现，然后向下扩张，最终全叶变黄，叶面偶而出现暗褐色污斑。染病稻根会退化腐烂，分蘖锐减，全株矮缩，逐渐凋萎。慕达区内曾于 1981 至 1984 年暴发红稻病大流行，令稻农蒙受约马币 2 千 500 万元的损失。

由于病毒颗粒不能自行分裂，不能生长，必须潜入寄主细胞，利用寄主的核糖体维持生命，因此灭菌药与抗生素皆无法消灭病毒。目前，以筛选抗病稻种来抵抗病毒的免疫防治法，仍然是最经济有效的植保措施。

广植抗病性强品种

在马来西亚，稻农一般会热烈响应农业推广员的号召，广植抗病性强的品种。然而，一些于初次试种时完全不发病的良种，一旦受到侵染却突然急剧罹病，有时甚至因此而蒙受严重亏损。这种现象的出现，主因是当抗病性强的品种由稻农栽培后，以前占优势的原有菌系，因为阻势增强而造成增殖能力降低。反之，经过突变产生能感染

发现田鼠 (*Rattus argentiventer*) 的繁殖期与水稻的开花结穗期一致。水稻抽穗期间，田鼠开始交配，稻穗成熟时，幼鼠刚好出生，田里的稻谷因此成为鼠群丰盛的美食。

田鼠的繁殖非常频密和集中。单季稻作的水田里，田鼠的生产活动仅有一个高峰；然而，在双季稻的水田里，由于食物容易获取，田鼠大肆活动繁殖，因此常常出现两个高峰，每个季节的活动期长达两个月。雌鼠平均每胎能生三至十七只幼鼠，平均每胎十只。雌鼠能于生产后立即受孕，一只雌鼠能同时与两窝幼鼠共处一巢。通常第二窝幼鼠出现时，较早出生的幼鼠已有能力离巢觅食。因此，在双季稻的水田里。雌鼠一年内可能生四窝幼鼠，如果不采取有效的长期措施来降低田鼠的密度，三两年之后田里到处都有鼠窝，稻农也从此终日寝食难安了！

田鼠嗅觉听觉灵敏

田鼠的嗅觉、听觉和触觉特别灵敏，虽然田鼠色盲，不过在幽暗的环境中，却能轻易辨认各种东西的轮廓，并能记忆周遭的事物。田鼠也善爬善泳，能于15公尺高处跃下而不蒙受严重伤损。田鼠食量大，平均每天能吞食等于体重10%的食物。

田鼠的巢穴一般筑于田塍，河堤或田中。在马来西亚，田野调查显示：97%的鼠窝筑于15厘米或更高的田塍，而几乎100%的鼠窝出现于30厘米或更宽的田塍。调整田塍的结构，可以影响田鼠繁殖。

被杀鼠尸尽速处理

目前，许多农药公司将缓效性杀鼠剂与适口性良好的饵料均匀混合后，制成腊块，投放方便安全。在田塍上施用，每 5 至 10 公尺投放一块毒饵，投药 24 小时之后，重回原处检查，若毒饵已被吃掉，立即补投毒饵。若全部毒饵已被取食，显示鼠口密度大，必须加倍补投。毒饵在田塍上加盖防雨，将不易受到损坏，药性持久。

缓效性杀鼠剂的化学成分主要来自 hydroxycoumarin 或 indanedione。在马来西亚，常用的缓效性杀鼠剂包括：warfarin、coumatetralyl、chlorophacinone、brodifacoum 和 bromadiolone 等。这些药剂的作用方式是抑制维生素 K 在肝脏内的合成。由于维生素 K 是促进血液凝固的化学物质，中毒的鼠类因为缺乏维生素 K，结果死于内出血（internal haemorrhage）。在水田里施用缓效性杀鼠剂，一般在投毒饵后第三天发现死鼠，第五、六天出现死亡高峰。中毒田鼠往往死于隐蔽处，鼠尸唇边常露血迹。

由于动物取食中毒死亡的田鼠会引起二次中毒，农民必须收集死鼠，挖洞深埋。

分析东南亚各地区多年来鼠害形成的主因，结论往往显示：问题的根源来自稻农对科学防治法的认识不足。农民的耕耘和播种工作一向来随心所欲，缺乏协调，一般农民都有这种强烈的偏私心态和想法：多放些杀鼠剂在自己的田里就行了，别人田里的老鼠出没与我无关，只要自己田里的水稻不受干扰和破坏就天下太平。

闪电能使氮量增加

马来西亚主要稻产区土壤的氮含量为 0.06% 至 0.23%。除了土壤原有的氮素之外，闪电也能使大气层中的氮(约占大气容积的78%或大气重量的75%)与氧(oxygen)在高温状况下结合成二氧化氮(NO_2)，再溶入雨水成为亚硝酸(HNO_2 , nitrous acid)和硝酸(HNO_3 , nitric acid)。含氮的雨水降落地面之后，与土壤中的矿物质结合成硝酸盐(nitrates)。科学家估计：每年全球通过闪电及雷雨而形成的含氮化合物，高达 800 万至 3 千万吨。

在土壤里有些微生物能将空气中的氮素，转变为含氮化合物，这个现象称为生物固氮作用(biological nitrogen fixation)。豆科植物的根瘤(nodules)中含有共生根瘤菌(Rhizobium)，这种微生物能在自己的细胞中产生一种固氮酶(nitrogen fixing enzyme)，先将氮原子转变成氨(ammonia, NH_3)，然后进一步转化成植物体内各种含氮物质。稻田里种植的绿肥(green manure)如南苜蓿(Medicago hispida)、紫苜蓿(Medicago sativa, 即 alfalfa)、紫云英(Astragalus sinicus)、田菁(Sesbania rostrata)等，因为能与固氮微生物共生，因此是富含氮素的有机肥料(organic fertilizer)。这些绿肥可以直接加入土壤翻压，或经过堆腐(composting)再施入土壤。

除了豆科植物之外，热带水田里常见的红萍(Azolla pinnata, 亦称满江红)，能与一些蓝绿藻(blue green algae)如鱼腥藻(Anabaena azollae)共生。红萍生长快速，固氮

都含有氮素。

氮也是构成核酸 (nucleic acid) 的元素之一。核酸可分为去氧核糖核酸 (deoxyribonucleic acid, 简称DNA) 和核糖核酸 (ribonucleic acid, 简称RNA)。DNA是遗传的基本物质, 主要分布于细胞核内的染色体 (chromosomes), 少量存在线粒体 (mitochondria) 和叶绿体 (chloroplast) 内。RNA主要分布于细胞质 (cytoplasm), 负责蛋白质的合成。

缺乏氮素稻叶憔悴

负责推动光合作用的叶绿素 (chlorophyll) 内也含有氮素。叶绿素吸收阳光的能量后, 放出电子, 形成附带正电的叶绿素, 同时导致水的分解, 产生氧气 (O_2)、质子 (H^+) 和电子。带正电的叶绿素接受这个来自水解离后释放的电子, 恢复中性, 并且继续吸收光能来进行光合作用。

经验丰富的稻农, 在水田里看见稻禾的叶片由翠绿淡化成微黄, 叶片无力挺直和长势缓慢, 就知道稻作需要氮肥补给了。由于含氮的养分是稻作细胞内生命活动的基础, 氮素不足, 叶绿素的形成受到影响, 含量就会随之下降。氮在稻作体内容易转移, 所以缺氮的征状最先显现于稻株基部较老的叶子上, 然后逐渐向上蔓延。严重缺氮时, 植株下部叶片呈锈黄色, 甚至枯萎凋稿。

缺氮也导致蛋白质减少, 细胞分裂受到抑制和生长受

阻，结果稻株矮缩，稻叶细长，叶色失去光泽，出现早衰现象。氮素不足会造成稻作生理失衡，分蘖减少(reduced tillering)，穗小粒瘪，产量锐减。

反之，如果氮肥供应过量，也会为水稻带来不良的反应。猛施太多氮肥会使营养体徒长，花期延迟，稻秆柔弱，抗倒伏与抗病能力减低。在稻株密集的直播水田里，稻纹枯病往往因为氮肥过多而危害加重，发病率也随氮肥施用量的增加而提高。

水稻对氮素养分的吸收随着稻株生长而与日俱增，土壤供肥能力却反而日益下降。因此，氮素的合理施肥技术，必须以水稻的生理特性作为基础，并且根据水田的生态环境来拟定施肥时期、施肥用量与施肥方法，尽量发挥氮肥最大的效益从而提高稻产。

应用广泛利用率低

氮肥在水田的应用广泛，然而其利用率(efficient use)却不高。施入土壤中的氮，一部分损失，一部分在土壤中残留，只有一部分被水稻吸收。在热带的水田里，尿素氮(urea-N)的施用，能被水稻吸收利用的往往不及40%。除了在灌溉排水中从农田流失之外，氨的挥发(ammonia volatilization)与反硝化作用(denitrification)是氮素损失的两大主因。氨的挥发是指氨从土壤表层(soil surface)释放到大气的过程，反硝化是指土壤中硝态氮(nitrates)还原产生气态氮 N_2 和 N_2O (gaseous emission of N_2 and N_2O)的

钾肥与作物栽培

在人体内所需要的各种矿物质 (minerals) 中，钾、钙、镁、钠、磷、硫称为六大元素，因此需求量较其他矿物质高。

钾 (potassium, 亦称 kalium) 广泛分布于人体内的血球、肌肉和神经组织中。大部分的钾存在细胞内，少部分存在于细胞外液。成人一般的摄取量为每天4克 (4gm) 左右。钾对神经传导 (neurotransmission) 扮演重要的角色，钾含量不足能使骨骼肌 (skeletal muscles) 瘫痪，使人患上神经传导及心肌活动失常的低钾症 (hypokalemia)。

钾素易随水流丧失

富含钾的食物包括新鲜蔬菜和水果，其中薄荷与香蕉的含量尤其丰富。蔬果的钾来自土壤，而土壤中的钾来自成土母质 (parent materials)。土壤中的钾含量介于 0.5% 至 2.5% 之间，一般约 1% 左右。

在热带地区，由于年降雨量高 (high annual rainfall)，钾素极易随着地表水层的迁移而丧失，这种流失现象在灌溉区内尤其严重。自从1970年代开始推行双季稻的种植之

钾，极易为植物直接吸收利用。

钾素会因土壤中不同种类的黏土矿物而表现出不同的活性。在马来半岛西海岸的慕达区里，黏土矿物以蒙脱石 (montmorillonite, 2:1 型黏土矿物) 为主，固钾量大，土壤中钾的总贮量也高，水稻缺钾的情况较少。反之，在东海岸的吉兰丹和丁加奴，许多稻产区内以高岭石类 (kaolinite, 1:1 型黏土矿物) 为主，固钾量小，土壤中钾的总贮量不高，若不及时补充钾肥，水稻常会因为缺钾而出现生理失常和病理征状。

广泛影响作物生长

钾素对作物的生长发育，具有广泛的影响，其基本生理功能可以归纳为以下数个方面：

1. 钾能增强作物的光合作用和促进淀粉的形成 (essential for photosynthesis and for starch formation)：植物借助光能将二氧化碳 (carbon dioxide) 与水分合成为碳水化合物 (carbohydrate) 的过程中，钾离子能提高多种酶的活性 (enzyme activation)，加速二氧化碳的同化 (CO_2 assimilation)，调节植物细胞内外液体的渗透流动 (osmoregulation) 掌控气孔的开启和关闭机制，方便蒸散作用进行 (regulation of transpiration by stomata)，对经济用水有利。此外，钾加速对光合产物的转移和输送 (transport of assimilates)，特别是输往

贮藏器官如果实、籽粒和块茎。实验证明：以含钾量低的植株作比较，钾含量高的植株具有较强的光合效应（higher photosynthetic efficiency），较大的叶片面积（larger leaf area）和较多的叶绿素含量（higher leaf chlorophyll content）。

2. 钾能增强作物对病害的抵抗力（increasing crop resistance to certain diseases）：钾离子具有促进植物厚壁组织的木质化作用（lignification of sclerenchyma tissues），使细胞不易受病原菌侵袭。当钾素含量遽降后，作物组织内处于不稳定状态的低分子糖分、氨基酸和胺类开始积累（accumulation of labile low-molecular weight sugar, amino acids and amines），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。
3. 钾能改善作物的品质和产量（improving crop quality and yield）：由于钾素增加植物的抗逆性，如抗旱和抗倒伏，能缓和氮肥过多所引发的有害作用，因此对瓜果、蔬菜、谷类作物的产量和品质改善，具有重大的影响。例如：钾能增加水稻的每穗实粒数（number of spikelets per panicle）、结实率（percentage of filled grain）和千粒重（1000-grain weight）。钾促进花生荚果的形成，能增加每荚的仁数。此外，钾对玉蜀黍的蛋白质，黄麻的纤维拉力，甘蔗的糖分，柑桔和橙的维生素C（Vitamin C），香蕉、西瓜的可溶性糖，以及番薯的淀粉含量，都有显著的促进作用。

的蔬菜如芥兰、芥菜、菜心都含有很多硫。其他如洋葱、大蒜和萝卜的辛香气味，皆来自挥发性含硫化合物。

硫与钙一样，在植物体内的移动性不大，因此缺硫的症状一般先出现于新叶，最初是幼叶尖端呈灰黄色，最后全叶黄化。这些外观症状与缺氮相似，主要的差别是氮的移动性强，因此黄化现象最先发生于老叶而非新叶。

瓜类和茄类缺硫时，顶端幼芽最先变黄，干茎瘦弱，根细长而不分枝，开花结实的时间延迟，花易脱落，结实后长势不良。

豆科作物如花生缺硫时，植株上部黄化、矮小，豆荚结实率低。

水稻缺硫时，上部新叶黄化，严重缺硫时，植株整体变黄（yellowing of the whole plant），叶尖焦枯。其他症状包括茎秆矮缩（stunted growth），分蘖减少（reduced number of tillers）、穗短粒少（shorter panicles and reduced number of spikelets per panicle）。水稻一生若处于缺硫的环境中，将无法长出稻穗。若于营养生长期缺硫，整个生育与成长过程将推迟一至二星期（maturity is delayed by 1-2 weeks）。

一般砂质土壤与有机质含量低的土壤，缺硫现象较黏土（clay）和壤土（loam）严重。农民可以施用硫酸铵（Ammonium sulphate，含 24% S）、硫酸钾（Potassium sulphate，含 18% S）、过磷酸钙（single super phosphate，含 12% S）来补充土壤中的硫素营养。

小，叶数减少，不过分蘖却不受影响。严重缺锰时，稻叶呈深棕色，根系发展受阻。

一般作物缺锰的征状与缺铁相似，即叶脉间黄化都最先出现于新叶上。两者之间的主要差别是：作物缺铁会造成新梢顶端枯死，然而作物缺锰时，顶芽仍能存活。缺铁时病斑不常出现于叶片上，然而作物缺锰时，叶片上经常出现斑点，叶片呈杂色。

菊花缺锰时，中部叶片最先出现退绿黄化现象，从叶缘逐渐向叶脉间蔓延，并向上部叶与下部叶扩散，严重缺锰的菊花，除了主脉仍呈绿色之外，叶片大部分变黄。

花生缺锰，新叶的叶脉间黄化，并容易感染褐斑病。

柑桔缺锰，新叶叶脉间黄化部分凹陷，叶片不平滑。

缺铜——叶端出现深褐焦痕

铜（copper，亦称 cuprum，化学称号 Cu）是氧化酶的组成成分，能调节氧化过程中的催化作用（a regulatory factor and a catalyst of oxidation reaction）。铜在植物体内是一种重要的效应物（effector），在细胞的特殊生化反应中能够加速或降低反应速率。铜也是维生素 C（ascorbic acid，即抗坏血酸）的成分，饮食中缺乏维生素 C 会导致坏血病。

铜所扮演的其他重要角色（key roles）如下：

- 活化氨基酸，促进蛋白质的合成（activate amino acid in protein synthesis）。

钼能促进豆科作物固氮(nitrogen fixation)。豆科作物缺钼时,根瘤(root nodules)发育不良,而且细小稀少,固氮能力下降。

豆科作物如大豆、绿豆、菜豆和花生等缺钼时,叶片变厚,并且皱缩。叶缘向上卷曲形成杯状,叶色呈淡绿,遍布细微的灰褐色斑点,果实质量差。

十字花科作物如花椰菜缺钼时,叶片缩小,植株矮化,叶片褪绿,并且出现橙黄色斑点。严重缺钼时,叶片畸形,呈鞭尾状。

缺钼现象主要发生于酸性土壤,因此作物缺钼时,锰与铝的毒害现象亦经常随之出现。

缺硼——植株叶尖白化卷曲

硼(boron,化学称号B)与钙一样,皆参与细胞壁物质的合成以及维持细胞壁膜完整的任务(cell wall biosynthesis and plasma membrane integrity),因此作物缺硼的症状和缺钙类似,必须细察鉴别以便对症施肥。一般缺硼时叶片厚而脆弱,缺钙则叶片呈弯钩状。由于硼在植物体内不易移动,缺硼现象首先出现于新叶。

硼并非酶的组成分,对酶的活性无影响。硼促进碳水化合物的运输和代谢(carbohydrate transport and metabolism)、木质化作用(lignification)、细胞伸长和细胞分裂(cell elongation and cell division)和生殖器官的发育(development of reproductive organs)。

水稻缺硼，植株矮缩，新叶的叶尖白化卷曲。严重缺硼时生长点死亡（death of the growing point），并且无法抽穗（fail to produce panicles）。缺硼对花器官的影响，一般比缺钙更严重。

果树缺硼，会明显降低结实率，造成开花不结果现象（flowering without fruit formation），原因是花粉的形成与花粉管的延长受阻。此外，硼能促进花蜜的分泌（stimulate the secretion of nectar），诱引昆虫到来传授花粉。

番薯缺硼时，叶柄卷缩，叶片早落，薯块细长畸形，薯肉出现褐斑。

微量元素难再利用

整体而言，微量元素在植物体内不易移动，无法从衰老器官转输新生器官，因此老叶中的微量元素不能由植物再利用，造成缺素征状主要出现于新叶上。

微量元素肥料的施用方法很多，施用时可直接施入土壤，也可进行种子处理，或叶面喷施（foliar spray）。一般叶面喷施较经济有效，因为微量元素不会受到土壤的吸附作用而降低有效性。

由美国佳禾生化公司（JH Biotech, Inc.）研发的微量元素植物营养剂补育肥（Biomin），因含有三种天然螯合剂（natural chelating agents）能通过增效作用（synergistic actions），显著提高作物对微量元素的吸收率和利用率，加强作物的生理机能，促进开花、授粉、结实，增进作物

的品质与产量，防止成熟前落果，同时不会烧灼叶面，安全性高，因此广受农民采纳施用。

马来西亚精农有限公司生产的宝土微量元素（Nutri-Plant TE），在吉打州慕达农业灌溉区的示范田里施用后，产量提升30%至35%，显示经过长达卅余年的连续种植之后，许多稻田的肥力已下降，需要微量元素的补充才能提高稻产。



马来西亚的田野观察显示：持续绵雨寡照，尤其是在孕穗至乳熟期，最易引发纹枯病（sheath blight）侵袭再生稻。在密植和施用过量氮肥的水田里，病势甚至蔓延至再生稻的穗部。

· 水利管理（water management）

中国科学家万安良等对再生稻进行的田野调查揭露：头季稻抽穗后持续保持田土不干，然而并不淹水的状况，对促进头季稻后期根系活力，以及提升再生稻的发芽率最为有利。

头季稻收割后的水利管理能影响再生稻的生长。早灌（early flooding）能令再生稻株基部发根，这些再生根是再生稻吸收水分和养分的重要器官，因此早灌能避免茎秆枯槁和休眠芽萎缩凋残。此外，早灌也较迟灌更能促进再生稻快速、均匀成长，达致更理想的茎秆高度和更满意的收成（early flooding encourages more rapid, uniform regrowth than delayed flooding, and achieves better ratoon height and yield）。

在地势低洼的水田里，恰当的排水措施能防止泛滥，避免造成稻桩上的再生芽死亡。

· 栽培管理（crop management）

土壤养分的供应状况与再生稻的发育情况关系密切，由于头季稻收割之后，一般残留于田土中的氮、磷、钾含量不高，因此施用这些主要营养元素能够显著提高再生稻

能侵染本地MR系列稻作品种的生理小种 (strains) 而引发灾难性的病害问题，即刻加强管制措施，不允许农民继续种植未经检疫的稻种。

稻瘟病的分生孢子与菌丝体经过约55℃的湿热处理5至7分钟，即会死亡，因此以温水浸种能减少苗瘟。在各种灭菌剂之中，富士一号 (Fuji One, isoprothiolane) 与三环唑 (Beam, tricyclazole) 都受到推荐。三环唑不但防效好，其持效期长达15至20天。1970与1980年代期间，曾在慕达灌溉区内广受欢迎。

直菌感染稻纹枯病

稻纹枯病 (sheath blight) 也是由真菌感染的主要病害，在热带通常由属于不完全菌类的病原菌 (*Rhizoctonia solani*) 侵害而发病，其完全阶段病原菌称为 *Thanatephorus cucumeris*，只在密植多肥高湿的情况下出现。

稻纹枯病于1953年由植物病理学家记录于马来西亚的农业文献中。纹枯病的发生一般出现于水稻分蘖之后，症状先在近水面的叶鞘 (leaf sheath) 呈现椭圆形褐黄色病斑，平均长约2至4厘米，若不仔细观察，极易受到忽视，因此过去马来西亚的稻农对稻纹枯病的认识不深，有关病情的报导亦不常见。然而，随着水稻直播法于1990年代几乎完全取代传统的插秧法之后，高密度的稻株配合了氮肥的增施，导致近年纹枯病的发生为害日趋严重。以慕达灌溉区为例，1998年田野调查显示，接近80%的直

播水田在抽穗后皆出现病势轻重各异的病斑。病情严重时，秕谷率（percentage of half filled and empty grains）剧增。千粒重（1000 grain weight）下降，受到严重侵染的水稻减产约50%。

稻纹枯病的病原体以三种形态出现：一是菌丝体（mycelia），二是菌核（sclerotia），三是担孢子（basidiospores）。

菌核是由长轴组织（prosenchyma）所组成，这些组织的菌丝分支密布，丝状粗短，含有细胞核与颗粒状贮藏物。菌核呈圆珠形，直径约5毫米，形成初期白色，成熟时呈褐黑色，表面有孔洞结构。菌核浮在水面随风飘移，能长出发芽管，侵染水稻。菌丝有分隔膜（septa），细胞内多核（multinucleate），褐黄或暗褐色，在稻株表面匍伏蔓延，先向横扩展，稻丛封行后，病势由下而上扩张，严重时能直达稻穗。纹枯病的病斑呈不规则云纹状，边缘褐灰色，中部在干燥的情况下一般颜色焦黄，潮湿时变成灰绿。病斑在高温高湿的田里，会生出菌丝，纠结成小颗粒的菌核。病斑也会长出白色粉末状的有性生殖细胞，即担孢子，能引发条带状纹枯病（banded blight）。纹枯病的寄生范围（host range）很广，受侵害的作物包括玉蜀黍、大豆、花生和甘蔗，田里多种杂草也是纹枯病的侵染源。栽培稻与野生稻皆缺乏遗传抗性（genetic resistance），一些科学家正在研究从其他生物的基因组中提取能抗真菌的基因（antifungal genes），如chitinase或thaumatin-like protein genes，嵌入水稻的染色体，以加强水稻对纹枯病的抗性。

状，随后变黄枯死。病叶的叶鞘外附有黏稠胶质。剪断病株的茎部后，可从切口挤出大量黄色菌脓。发生凋萎型白叶枯病的水田常因大量稻株凋残而引起稻穗完全不结实，青粒增加，米质粗脆，甚至颗粒无收。

采用抗性强的品种是抑制白叶枯病最佳的措施。生物科技专家已成功用基因枪转基因技术（*biolistic gene transformation method*）将高抗白叶枯病 Xa 21 基因导入水稻。Xa 21 基因能在抗白叶枯病的转基因水稻的后代稳定遗传。

东格鲁病惨重浩劫

东格鲁病（*tungro*）的报导最先于 1965 年出现于马来西亚的农业文献中。这种由病毒（*virus*）侵染的水稻疾病在亚洲普遍分布。马来西亚的稻农称这种植病为红稻病（*penyakit merah*，简称 PMV），印尼称为 *penyakit habang*，泰国称为黄橙叶，菲律宾、印度、巴基斯坦、室利兰迦称为东格鲁（*tungro*），含有植株萎缩退化（*degeneration*）之意。

植物病理学家发现：东格鲁病由两种无亲缘的病毒造成，第一种病原病毒是球状颗粒（*isometric particles*），第二种为杆状两端圆形颗粒（*bacilliform particles*）。两种病毒分布于稻株维管束（*vascular bundles*）的细胞，通过黑尾叶蝉（*green leaf hopper, Nephotettix virescens*，亦称浮尘子）作非永久性传播。球状病毒只含有核糖核酸 RNA，

该稻种的新生理小种，却因原有菌系的减少或消失，令竞争压力降低，而有机会大量增殖。当该稻种的栽培面积不广时，新的致病性突变菌系造成的侵害往往不易察觉；不过大面积栽植后，新致病生理小种即迅速蔓延，形成破坏性显著的大流行。

因此，除了必须正确用药，科学施肥，发展预测技术之外，稻农也必须尽力避免大面积种植单一品种，以防止新的病源生理小种出现，令抗病稻种罹疾而前功尽废。



田鼠的威胁与防治措施

老鼠是繁殖力旺盛，适应性顽强的哺乳动物 (mammals)。远在数千年前的古巴比伦与古埃及，老鼠已经成为农民的劲敌。在中国的春秋时代，《诗经》里就有一首以老鼠来象征贪官污吏的古诗〈硕鼠〉。封建时代的农民，在饱受鼠害和剥削之后，只能在绝望边缘祈求一片远离鼠辈的乐土快快出现，好让他们平安度日。

大城市中老鼠活跃

科学家曾经估计，亚洲一些大城市里，老鼠与人口的比倒是三比一。老鼠的活动范围远远凌驾于人类之上。因此，有人悲观地预言：有一天人类耗尽了赖以生存的物质与能源，而人类创造的文明也逐渐濒临绝路的当儿，老鼠最有希望取代人类，将地球改头换面，成为鼠辈横行的天下。

老鼠属于啮齿类动物 (rodents)，一般体大尾小，躯干圆长，口吻突出，四肢短瘦，唇有长须，耳小眼圆。老鼠的门牙上下各两只，牙齿上面有黄色珐琅质 (enamel)。门牙状如利凿，能持续生长 (continuously growing chisel-

like incisor)。老鼠无犬牙 (canines)，臼齿 (cheek teeth, molar) 与门牙之间有空隙 (diastema)。臼齿的嚼面有横纹 (ridged surfaces)，能将坚硬食物研碎。

老鼠前肢比后肢短，有五趾 (digits)，各趾有钩爪 (claws)，第一趾特别短小。全身覆盖着短毛。田鼠背部暗褐，腹部灰白。长尾上有环生粗毛 (bristles)。

老鼠能将可怕的疾病传染给人类，这些恶疾包括鼠疫 (plague)、斑疹伤寒 (typhus)、脉络丛脑膜炎 (choriomeningitis)、弓形体病 (toxoplasmosis)、旋毛虫病 (trichinosis)，其中最令人丧胆的是鼠疫。这种由病鼠身上的跳蚤 (rat flea) 将鼠疫杆菌 (*Pasteurella pestis*) 传播的黑死病 (Black Death)，在 14 世纪时，将 2 千 500 万人，或四分之一的欧洲人口杀灭。

半岛鼠科廿六个物种

1940 年代的自然科学文献记载：马来半岛的鼠科 (Family Muridae) 中共有廿六个物种。这些鼠类对主要农作物如椰子、油棕、可可、甘蔗和水稻造成很严重的破坏。远在 1921 年，英殖民地的农学家估计，霹雳州的吉辇区 (Krian District) 田鼠为害，损失的谷产足以供应一万人全年食用。1980 年代初期，马来西亚的田野调查显示：在连续四个季节里，鼠害造成的损失介于 5% 至 12%。

马来西亚农业研究与发展所 (MARDI) 的生物学家林悦明 (Lam Yuet Ming) 研究田鼠逾三十年，成就卓越。他

田鼠也善于挖洞掘穴，田塍里的地道可长达3公尺。地道的洞口最少有两个，最高超过六个。一般较大的出口在生产期间将由田鼠以新掘的泥土封闭，较小的鼠洞通常只作为紧急出口，平时较少田鼠出没。地道迂回曲折通往鼠窝，窝内遍布干草和稻秆。

虽然刚撒播的谷种偶尔会受到田鼠嚼食，一般田鼠在田里的破坏活动始于播种后一个月左右。田里新掘的鼠洞也在这个时期迅速增加。鼠害在孕穗期间最显著，而许多外围的鼠群也相继迁入田里抢食。稻穗成熟期间，以饵诱鼠效果不大，主要原因是田里鼠粮充沛，食物易得。

施用杀鼠剂（rodenticides）是农民最常用的灭鼠方法。中国在两千多年前的战国时期已懂得利用信石（砒霜，亦称砷 arsenic）来配制成毒饵，引诱老鼠取食。

理想杀鼠剂的条件

理想的杀鼠剂必须具备如下的条件：

- 对鼠类具有毒力，然而对人类与其他非靶标动物相对安全（toxic to rodents yet safe to non-target species）。
- 毒性发挥缓度适当，鼠类于药性发作之前，能吞食足够的致死剂量（slow toxic action to allow rodents to consume a lethal dose）。
- 杀鼠剂需具适口性，无味，以避免害鼠警觉拒食鼠饵（rodenticides should be palatable and odourless to avoid bait-shyness）。

- 害鼠死状不会引致其他存活同类对毒饵产生猜疑 (the manner of death should not create suspicions among surviving animals) 。
- 杀鼠剂在饵内毒力稳定，不易分解失效 (rodenticides should be stable and non-degradable in baits) 。
- 杀鼠剂对捕食中毒害鼠的动物不引发二次中毒的危险 (rodenticides should have no danger of secondary poisoning) 。
- 中毒的害鼠于空旷之处死亡，方便清除鼠尸 (the poisoned rodents should preferably die in the open to facilitate easy removal of carcasses) 。
- 生产成本低廉，使用简易方便 (inexpensive to manufacture and easy to apply) 。

杀鼠剂可以根据毒力作用时间分类为速效性毒剂 (acute poisons) 和缓效性毒剂 (chronic poisons) 。

磷化锌杀鼠伤人畜

在马来西亚，磷化锌 (zinc phosphide) 在1960、1970年代是稻农最常使用的烈性杀鼠剂。由于颜色黝黑，马来稻农称磷化锌为黑药 (racun hitam) 。磷化锌的特点是杀鼠作用快速，鼠类一次取食后通常一小时内即中毒致死，故而亦称为单剂量杀鼠剂 (single-dose rodenticide) 。制造毒饵时，以谷物如玉蜀黍或稻谷搅拌相等于饵料重量1%

至 2% 的磷化锌，然后将毒饵按鼠迹投放，或于田塍边沿每隔 5 米投饵一堆，每堆饵约 5 克。由于鼠性狡猾多疑，对毒饵易起戒心，影响灭鼠效果。因此，若能在施用毒饵前，连续两天以不含磷化锌的同类饵料在原处投放，田鼠食后无不良反应，于第三天成群到来取食时，对毒饵因疑拒食的可能性已大大降低。以这种方法投饵，能有效地大面积毒杀鼠类。

磷化锌的作用方式为胃毒，田鼠食后，药剂和胃酸发生化学反应，产生磷化氢（phosphine，亦称 hydrogen phosphide）。这种无色、易燃，味若大蒜的剧毒气体，能令田鼠心脏衰竭、肝脏和肾脏严重损坏而死亡。中毒害鼠死前的征状包括抽搐、麻痹、昏迷和呼吸困难。磷化锌的优点是制饵成本低和对鼠没有选择性，凡鼠皆杀。缺点是不仅杀鼠效能高，对人畜的毒性亦强烈，无法予短期间解毒，因此对操作人员的安全构成威胁。马来西亚农业部不鼓励农民以磷化锌防治鼠害。

缓效性杀鼠剂的特点是灭鼠作用缓慢，鼠类取食之后，药剂并不立即在肠胃中发生化学反应，因此，害鼠由于取食药量不足，中毒未死而随后产生因疑拒食的反应通常不会出现。

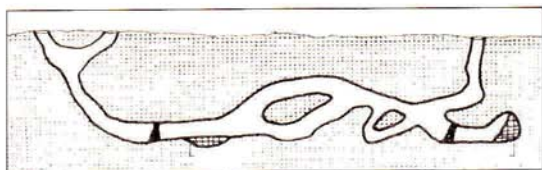
缓效性杀鼠剂一般以抗凝血药（anticoagulants）为主。这类杀鼠剂的毒饵内含药量仅 0.005% 至 0.25%，害鼠多次取食后不产生明显拒食反应。若人类因误食而中毒，可以服用维生素 K1（vitamin K1）解毒，因此对人畜相对安全。

有这种观念和心态的稻农忽略了一个要点：田鼠是流动性很强的动物，只凭借个人的力量在一个小地区里单独采取灭鼠行动，作用其实非常有限，而且往往事倍功半，甚至毫无实效。

灭鼠行动全体一致

最有实效的防治鼠害策略，是全体稻农采取一致行动，互相配合和协作，在水田里共同展开大面积的灭鼠措施，以防为主，持续不辍，将鼠口密度长期压低。防治田鼠，单靠杀鼠剂只能治标；唯有通过综合防治，群策群力，集体追杀田鼠，以机械和化学法配合生态灭鼠，铲除田塍和田间小径的杂草，清除农田附近适宜田鼠繁殖的荫蔽场所，断绝田鼠的粮食供应，始能减少鼠害。在田鼠常常出没之处设立围田屏障和捕鼠器（physical barriers and traps），大量捕捉田鼠，同时设法保护老鼠的天敌如猫头鹰，为这些益鸟在田间设立栖息所，都值得积极推行。

长期破坏田鼠繁殖的环境，利用生态力量使田鼠疲于奔命，才是治本的善策。



田鼠挖掘的地道可长达 3 公尺，地洞口最少有两个，最高多达六个。

氮肥与作物栽培

中国古代的农民很早就体察到肥料的增产效果。有关施肥的农谚很多，如“庄稼一支花，全靠肥当家”，“人靠饭养，稻靠肥长”，“种田粪肥多，谷子箩搭箩”，“小孩缺奶不胖，庄稼离肥不壮”等，充分显示农民从实践中已深入了解，土壤中的养分被移用后，必须通过施肥来补偿；倘若不以肥料为稻田恢复地力，土壤就会逐渐贫瘠，而稻作也会株矮穗小，劣质低产，因为“底肥不足苗不长，追肥不足苗不壮”。

主要元素维持丰产

植物除了由根部吸收水分和以叶片吸取二氧化碳，从而获得碳、氢、氧来组合有机质（organic matters）的主要成分之外，还必须从土壤中吸取氮、磷、钾、硫、镁、钙、硅、铁、锰、锌、铜、钼、硼、氯等营养元素，以供正常的发育和生长。

作物的化学分析证明：95%以上的稻产来自光合作用中形成的碳水化合物（carbohydrates）；源自土壤的营养元素，在稻谷中的含量少过 5%。

根据中国科学院于 1961 年对水稻丰产的土壤环境研究，水稻对氮（nitrogen）、磷（phosphorus）和钾（potassium）这三种主要营养元素的需求量，远远超越其他元素。一般每生产 1,000 公斤稻谷，大约需要从土壤中吸取氮（N）11.0 至 11.9 公斤，五氧化二磷（ P_2O_5 ）5.8 至 7.3 公斤，氧化钾（ K_2O ）3.0 至 6.3 公斤。每生产 1000 公斤稻草，大约需要氮 4.0 至 7.2 公斤，五氧化二磷 2.2 至 3.2 公斤，氧化钾 15.3 至 32.0 公斤。

一般稻谷中所含的营养元素，成分较为稳定，稻草内的养分含量则易受环境因素影响而变化较大。氮在稻谷中的含量比磷和钾高，与稻草比较，谷粒中的氮等于稻草含氮量的两倍。反之，钾在稻草中的含量最高，为谷粒含钾量的五至十倍。氮、磷、钾在谷粒和稻草的总含量，比例大致是 2 : 1 : 3。

水稻从萌芽到结穗的整个生命历程中，养分的供应约三分之二源自土壤，只有三分之一来自当季施用的肥料。中国科学家的研究发现：水稻收获物中的氮元素，来自土壤的占 63% 至 67%。马来西亚农业研究与发展所（MARDI）的报告显示：在不施肥的情况下，主要稻区如吉打的慕达区（Muda Scheme）和吉兰丹的克姆布区（Kemubu Scheme）的基产（base yield）每公顷低过 3.3 吨，而在雪兰莪西北区（Northwest Selangor）则可达每公顷 4 吨。在这三个稻产区里，75% 至 77% 的谷产源自土壤本身的养分贮蓄，只有 23% 至 25% 的产量是依靠增施肥料来获取。

效率高。通过密集培育，红苹能于每公顷稻田内固氮约100公斤。日本科学家渡边（Watanabe）在1978年的报告中宣称，红苹能在一年内每公顷固氮450公斤。其他能固氮的蓝绿藻是Nostoc、Tolypothrix、Schizothrix、Calothrix、Anoboenopsis、Plectonema等。这些蓝绿藻通常活跃于稻作生育初期，随着稻作成长，蓝绿藻亦逐渐消失。

有机体不可缺元素

水稻根部有不少非共生细菌（nonsymbiotic rhizosphere bacteria）。这些自由生活的细菌有的能够固氮。土壤中的固氮菌（Azotobacter）、拜叶林克氏菌（Beijerinckia）和梭菌（Clostridium）等就是很好的例子。

生物固氮作用有助于维持土壤肥力。国际水稻研究所的田间实验证明：在完全不施肥的情况下，水稻能连续用一个季节获取每公顷3至4吨的谷产。

氮是一切有机体不可缺少的生命元素。在水稻体内，氮是氨基酸（amino acids）的组成成分，而氨基酸是构成蛋白质的基本物质。蛋白质是高分子有机聚合物（organic polymer），一般由大约三百至三千个氨基酸分子组合而成。蛋白质除了在建构生物体内各种组织（tissues）方面扮演重要角色之外，也是促进催化作用的酶（enzymes），以及引发特殊生理作用的激素（hormones，亦称荷尔蒙）的材料。常见的植物激素如生长素（auxin）、赤霉素（gibberellic acids，简称GA）和细胞分裂素（cytokinin）等。

化学反应。

为了提高氮素的利用率，土壤学家推荐将氨态氮肥（ammonia-N）和尿素（urea）施到3至5厘米深的还原层（reduced soil layer）中，避免氮肥在氧化层进行硝化作用（nitrification）。中国福建省农业科学院的报告指出：把尿素做成球肥然后深施（deep placement of granular fertilizer），其氮素被水稻吸收的利用率最高，为54.1%至82.7%，粉肥（powder-form N）深施次之，为46.5%至60.8%，以粉肥面施（surface application）最低，仅28.6%至55.9%。

日本科学家松岛省三（Matsushima.S）曾提出称为“V”字形的耕作施肥法（V-shaped cultivation theory）以达致水稻高产和稳产。这个施肥法强调前期和后期施肥较多，中期不施肥。按照这种方法，大约60%氮肥用来促进分蘖，另外40%的氮肥施用于抽穗前18天至开花期间，目的是确保颖花不退化和促进高结实率。

施氮素提高稻产

在马来西亚的慕达区里，于1公顷水田中将80至120公斤氮肥分四次均施，再配合其他肥料元素的合理使用，曾多次显著地提高直播稻的产量。

氮肥五次均施法的详情如下：

	施肥期			
	1/4N	1/4N	1/4N	1/4N
播种后天数				
I. 成长期 100 天 或更短的稻种	15-20 天	35-40 天	55-60 天	出穗 5-10%
II. 成长期超过 100 天的稻种	15-20 天	45-50 天	60-65 天	出穗 5-10%
功能	促进根 系生长	促进营 养生长	促进穗 大粒多	促进实 大粒饱

本地水田里最常见的氮肥是尿素和硫酸氨。尿素[$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]含氮 46%，在土壤中转化为氨态氮(NH_4)后，才由根部吸收。由于土壤吸收和保存尿素能力弱，尿素中的氮容易流失。硫酸氨[$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ammonium sulphate]含氮 21%，是速效氮肥；由于稻作吸收的氨比硫酸多， SO_4 残留土壤中，会降低 pH 值，使土壤酸性提高。

近年来，有机肥在本地水田中的应用日益增加，各种有机肥也纷纷面市。日本农业科学国际研究中心(JIRCAS)与慕达农业发展局(MADA)于 1994 年第二季稻的田间实验显示：微生物肥 6 号(Bio-6)产量最高，达到每公顷 7.49 吨。当年用于实验的品种是 MR84 号。

水稻施肥试验证明，单独使用化肥和有机肥，增产效果较小。反之，采取有机氮和无机氮各占 50% 的施肥法，不但能提高土壤肥力，而且还能确保优质和高产。

磷肥与作物栽培

古代的农民虽然缺乏分析各种主要肥料元素的知识和技术，然而，通过长期的田野观察和实践，积累多年的农耕经验，终于探索到各类有机和无机物质的性质，以及这些物质对农作物的生理影响。

磷素克服穗小粒瘪

《吴兴县志》里，记载了不少合乎施肥原理的农艺措施。其中一段话：“叶黄而粪之，叶柔而灰之，实稀而拌之以骨乃良也”，清楚地说明，古代稻农已懂得从粪肥中获取氮素，使稻叶恢复翠绿；从经过焚烧的草木灰烬中获取钾和硅等元素，使长势柔弱的植株挺拔健壮；他们也懂得利用骨灰获取磷素养分，来克服穗小粒瘪的现象，从而提高稻谷的产量。

磷是作物生长和发育不可缺少的主要营养元素，水稻对磷的需求量，仅次于氮和钾。在土壤中，磷的形态繁多，一般可以概括为无机态含磷化合物（inorganic form phosphorus compounds）和有机态含磷化合物（organic form phosphorus compounds）两大类。

无机态磷又可以再分为两类，即：

(一) 含钾、镁和钙的磷酸盐 (phosphates of potassium, magnesium and calcium)。

这类磷酸盐中，一部分为水溶性磷 (water soluble phosphates)，而另一部分则为弱酸溶性磷 (dilute acid soluble phosphates，亦称 citrate soluble phosphates)。这种形态的磷化物大部分以离子形态 (ionic forms) 如 H_2PO_4^- ， HPO_4^{2-} 和 PO_4^{3-} 离子存在，能够由植物的根部直接吸收。水溶性磷与弱酸性磷统称为有效磷 (available phosphorus)。马来西亚主要稻区土壤的有效磷含量介于百万分之 6.8 至 21.2 (6.8 to 21.2 ppm)。有效磷能于当季被植物利用。

(二) 含铁和铝的磷酸盐 (phosphates of iron and aluminium)

这类无机化合物如磷酸铁和磷酸铝的溶解度很低 (low solubility)，这些难溶性磷不易被植物吸收。

植物吸收无机态磷

有机态含磷化合物在土壤中以磷脂 (phospholipid)、核酸 (nucleic acids)、植素 (phytin) 和核蛋白 (nucleoprotein) 及其降解产物 (degraded products) 的形态存在。有机磷需要经过土壤微生物进行矿化分解 (mineralisation)，转化为小分子的无机态磷，才可以被植物根部吸收。由于磷和氮都是微生物的营养元素，一部分

的磷和氮被微生物吸收后，会暂时失去有效性。

高等植物组织内平均含磷约 0.2%。以水稻为例，磷在稻草中的含量介于 0.23% 至 0.32%，低于氮（介于 0.40% 至 0.72%）和钾（介于 1.53% 至 3.20%）的含量。

磷素在植物生理代谢活动中具有重要的作用，对作物的主要贡献如下：

1. 磷是细胞核的重要成分。细胞核内贮存生物遗传讯息的染色体（**chromosomes**），由去氧核糖核酸（**DNA**）构成。**DNA** 为双螺旋（**double helix**）的分子，每股由很多核苷酸（**nucleotides**）连接成长链。每一个核苷酸由磷酸（**phosphate**）、去氧核糖（**deoxyribose**）和含氮硷基（**base**）组成。**DNA** 序列构成基因（**gene**）。基因是遗传的基本单位，蛋白质的合成都由基因操控，而蛋白质在生物体内直接影响遗传性状的表现。
2. 磷在农作物体内扮演能量的调节者与传递者的角色。细胞内的线粒体（**mitochondria**）蓄藏着一种含有磷的高能分子，称为腺苷三磷酸或腺三磷（**adenosine triphosphate**，简称 **ATP**）。在细胞呼吸中，每一个葡萄糖（**glucose**）的分子在完全氧化后，能释放 38 个 **ATP**，一个 **ATP** 的分子能释放 76 千焦耳（**76KJ**）的能量。**ATP** 由线粒体合成后，传送至细胞各处使用。**ATP** 可以说是细胞的电池，当细胞在新陈代谢中需要能量时，**ATP** 放出一个无机磷酸分子（**phosphate**）转成腺苷二磷酸或腺二磷（**adenosine diphosphate**，简称 **ADP**），释放出能量。当能量由细胞消耗之后，**ADP** 又游移回线粒体中重

新吸能充电。

3. 磷对细胞分裂 (cell division) 和植物各器官组织的分化与发展具有重要作用。磷脂中含有磷，是细胞原生质 (protoplasm) 的组成部分，因此种子中贮存较多的磷素，能提供种子发芽时足够的营养，使细胞膜在成长过程中坚韧完整 (maintenance of membrane integrity)，不易受损。磷也能促进根系发育，分蘖和开花结实 (promotes root development, tillering, early flowering and ripening)。磷能帮助作物增强抗病与抗逆能力，提高豆科植物根瘤的固氮率。磷肥充足可消解氮素过多对作物成熟期的负面影响 (counteract the effects of excessive nitrogen applications on crop maturation)。

缺磷初期征象不显

农作物缺磷的症状在早期不明显，主要原因是磷并非叶绿素的组成成分，因此不像缺氮的作物那样，因为叶片由绿变成淡黄，而很容易分辨出来。大多数作物缺磷时细胞分裂缓慢，营养生长 (vegetative growth) 受到抑制，叶绿素浓度提高，造成叶片呈现深绿或暗绿色 (dirty dark green)。此外，由于磷在植物体内容易移动，所以缺磷征状首先出现于植株的基部。例如，水稻缺磷时，叶片直立短窄，叶色浓绿。严重缺磷等，叶片卷曲成“V”字形。植株矮小，秆茎瘦弱，分蘖停顿，植株上部叶色暗绿无光泽，植株下部叶片呈褐黄色，叶尖枯萎。有的稻作品种在

缺磷时，由于花色素苷(anthocyanin)的形成而呈现紫红色。

如果缺磷现象持续，根部发育停滞，新根呈深黄色，老根则因为受还原物质毒害而变黑腐朽，养分吸收受阻，稻作的生育延期，并导致叶数，穗数和粒数剧减，籽粒不饱满，产量也因此而大幅度降低。严重缺磷的水稻，完全不开花结实。

有些蔬菜缺磷时，老叶的叶脉呈现红色。番茄缺磷，叶背面呈深红色，叶脉则变为紫红色，茎部瘦弱，生长缓慢。洋葱缺磷，老叶尖端枯萎，叶部出现褐色花斑。

亚麻(flax)缺磷，根部生长发育受阻，根的长度比茎短，根色变锈红色。由于磷酸(phosphoric acid)短缺，亚麻的根部分泌出来的氧(oxygen)，能轻易将铁氧化后聚集于根部表层。

磷由动物骨灰提炼

在肥料的选择方面，骨粉(crushed bones)是农民最早应用的磷肥，主要以动物骨头加工制成。骨粉不溶于水，肥效缓慢，适宜施用于酸性土壤中作为基肥(basal fertiliser)。远在1840年，创立著名农业研究所Rothamsted Experimental Station的科学家罗威司(J.B.Lawes)以硫酸(sulphuric acid, H_2SO_4)从骨粉中提炼出水溶性磷酸一钙[monocalcium phosphate, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$]这种磷肥亦称过磷酸钙(superphosphate)。

磷矿粉 (rock phosphate) 是一种含有少量弱酸溶性磷酸盐的肥料, 可在酸性土壤中作为基肥应用。磷矿粉的后效长 (long residual effects), 次年肥效大于当年肥效。磷矿粉产于美国的佛罗里达与南加州、非洲的突尼西亚与埃及和太平洋群岛等地。在马来西亚, 最常用的是圣诞岛磷矿粉 (Christmas Island rock phosphate, 简称 CIRP), 含五氧化二磷 P_2O_5 约 36%。磷矿粉一般比过磷酸钙便宜。

过磷酸钙 (single superphosphate) 除了含有 16% 至 21% 的有效磷 (P_2O_5), 也含有 13% 至 20% 的钙 (calcium) 与 12% 的硫 (sulphur)。过磷酸钙属速效磷肥, 可做基肥 (basal fertiliser) 和追肥 (top dressing booster dose)。重过磷酸钙又称为三料磷肥 (triple superphosphate), 所含的有效磷 (P_2O_5) 高达 46%, 几乎等于过磷酸钙的三倍。这种高浓度磷肥 (concentrated superphosphate) 所含的杂质如硫酸钙 (calcium sulphate, 亦称石膏) 成分很低, 一般为灰色粉末或制成颗粒以方便施用。介于过磷酸钙与三料磷之间的双料磷 (double superphosphate) 含有 40% P_2O_5 , 由于价格较低廉, 一般农民喜欢采用。

磷肥易被土壤固定

土壤的 pH 值能影响磷肥的有效性。在 pH 值低的酸性土壤中, 氢离子 (H^+) 占优势。反之, 在 pH 值高的硷性土壤中, 溶液中 OH^- 离子占优势。当 pH 值达到 7.0 时, OH^- 和 H^+ 数量对等, 土壤呈中性。土壤 pH 值介于 6 至 7.5 时,

磷素最易被作物根部吸收。当pH值超过7.5时，大量碳酸钙(calcium carbonate)会使有效磷变成难溶的磷酸钙[$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$]。当pH值降低至6.0以下的酸性状态时，磷素与土壤中的铁和铝化合，成为难溶性的磷酸铁和磷酸铝，也能造成磷不易被根部吸收。

磷肥施用之后，易受土壤固定(fixation)，因此移动性(mobility)很低，移动距离主要集中于施肥点0.5至1.0厘米的范围内。为了提升磷肥的有效性，应该采用增加磷肥与根系接触的施肥法。由于稻作与蔬菜在幼苗期的根量少和根系浅，因此浅施于地表的磷肥有利于幼苗生长。反之，在有效磷含量低的新垦农地里，种植直根系作物如果树、棉花、茄子等，磷肥深施的效果会比浅施好。

此外，为了提高磷肥的利用率，可以将磷肥与有机肥料混合施用，利用有机肥料减低磷素与土壤接触以避免受到固定。

中国农业科学院的研究证实，将磷肥施于绿肥(green manure)上，能达致以磷增氮，同时又能提高土壤中有效磷的含量。

在印度南部，以磷菌(phosphobacteria)施于土中，或黏附于种子上(seed coating)，或浸苗根于菌液中(seedling dip)都能提高磷肥的利用。

水稻分蘖需求高磷

水稻幼苗期与分蘖期对磷肥的需求高。因此，以磷肥

做基肥，或早施含磷的混合肥，能有效防治缺磷所造成的生育失常。

田野调查显示：在马来西亚主要稻区里，每公顷直播稻于播种 15 至 20 天内，施用 40 公斤的有效磷（ P_2O_5 ），能增强水稻的发根力，分蘖旺盛，光合作用的场所显著扩大，促进淀粉的合成，提升结实率，达致高产目标。



磷素能促进根系发育和开花结实。

后，高产和耐肥稻种（high yielding, fertiliser responsive varieties）广获农民采纳，促使单位面积产量显著提高，作物对钾的需求量也因此而日益扩大，不少地区因为钾素补充不足而经常出现缺钾征状。

土壤中的钾素，可以依据其对植物吸收过程的有效性（availability），归纳为三大类：

1. 无效态钾（unavailable potassium）：这类钾素存在原生矿物中而很难分解，因此不易被植物的根系吸收。无效态钾约占土壤钾总储量90%至98%（90 to 98% of all soil potassium in a mineral soil）。长石（feldspars）和云母（micas）等矿物结构中的钾均处于无效状态，必须通过长期风化（weathering），才会逐渐释放出来。碳酸水（carbonated water）和酸性泥（acid clay）能加速无效态钾的释放。
2. 缓效态钾（slowly available potassium）：这类钾素被吸附于2:1型层状黏土矿物中（adsorbed by 2:1 type clay minerals），不能迅速被植物根系吸收。由于缓效态钾与土壤中的水溶性与交换性钾处于动态平衡状况（dynamic equilibrium），一旦土壤中的钾被植物吸收后，即由黏土矿物中释放出来，成为速效态钾。
3. 速效态钾（readily available potassium）：这类钾素约占土壤全钾量的1%至2%。溶液中的钾离子（potassium ions in soil solution）和土壤负电荷胶体上所吸附的交换性钾（exchangeable potassium adsorbed on the negatively charged soil colloidal surfaces），都是速效态

缺钾征状老叶黄化

农作物缺钾的症状首先出现于老叶之上，因为钾素在植物体内主要以钾离子（potassium ions）状态自由移动；一旦植物缺钾，这些离子能迅速由老叶转送至活跃的生长点，如茎端顶芽与根尖的分生组织（meristem），让植物再度利用。

水稻缺钾最初的征状是基部老叶的叶尖发黄，然后黄化现象逐渐由叶尖沿着老叶边缘向下蔓延。黄叶症状接着扩展至邻近的叶片，严重时心叶也会变黄。分蘖开始后，黄化的老叶上会出现形状不规则的黑褐锈斑（rusty brown spots）分布于叶脉之间，而叶尖与叶缘则焦枯坏死。严重缺钾时，稻根呈深褐色并夹杂腐朽的黑根，白根难得一见。褐斑亦可能出现于稻穗上。整体而言，缺钾现象通常出现于水稻生育中期与后期。缺钾水稻容易早衰（early leaf senescence），对稻瘟病（rice blast）、胡麻叶斑病（brown spots disease）和白叶枯病（rice bacterial leaf blight）的抗性减弱。

椰子缺钾时，老叶最先出现黄绿色斑点。这些斑点随后褪绿变黄，逐渐扩大，最后变成枯黄或红棕色，而老叶也从叶尖至叶缘开始枯黄。

玉蜀黍缺钾的征状是老叶的叶尖和边缘逐渐褪绿，随后转化为黄褐色，仿佛被火烧焦，这种现象称为焦边（marginal scorching）。

菊花缺钾初期，下部叶片边缘呈黄化现象，叶片下

垂。如果缺钾现象持续，菊花极易染病与出现早衰。

果树缺钾会影响果实的品质，一般缺钾水果的果实较小，着色不佳，易受霉菌感染，不耐贮存。

施用钾肥能有效防御缺钾所造成的作物生理异常。中国农民很早就采用各种秸秆、木柴、杂草、落叶和枯枝等燃烧后形成的灰烬来施肥。这些灰分总称草木灰，含钾量丰富，例如：稻草灰一般含钾约8.6%，稻谷灰含钾8.1%，杂草灰含钾约5.0%。草木灰所含的钾素以碳酸钾（potassium carbonate）为主。碳酸钾易溶于水，容易被作物的根系吸收，适于用作基肥和追肥。草木灰中的钾极易受雨水淋洗流失，必需收藏于干燥的地方。此外，草木灰硷性高，不可与氨态氮肥（ammonium fertilisers）混合，因为这些氮肥会因化学作用形成氨气（ammonia）而损失。

稻农用氯化钾为主

马来西亚稻农所施用的钾肥以氯化钾（potassium chloride, KCl）为主。氯化钾亦称muriate of potash，含 K_2O 60% 或 K 50%，一般来自地底的盐床（underground salt beds）。主要生产国是法国、德国、加拿大和美国。氯化钾是易溶于水的白色结晶，有吸湿性（hygroscopic），容易结块（caking）。由于这种钾肥中含有氯素（chlorine），不宜施用于忌氯植物。烟农一般回避氯化钾，因为氯会降低菸叶（tobacco）的品质。

硫酸钾（potassium sulphate, K_2SO_4 ）含 K_2O 50% 或 K

40%至43%与S 18%。白色结晶，易溶于水，吸湿性小。烟农多数以硫酸钾作基肥和追肥。

野生植物中，满江红是具有很强吸钾和富集钾能力的水生植物。中国农业部科学技术司的文献指出：鲜萍体含钾为0.3%至0.37%，风干萍含钾为1.21%至2.09% K_2O 。满江红有能力在钾浓度很稀薄的水体中吸收和富集钾素。当外液含钾量在百万分之0.85 (0.85ppm) 时，满江红吸钾速率最高，每克鲜萍在80毫升 (80ml) 培养液中经过24小时养殖，可把溶液中70%的钾吸收。

钾肥一般宜早施，但在缺钾的砂质土壤，后期追施钾肥可获得良好的效果。钾素虽然重要，施用不当反而会弄巧反拙，因为钾离子对其他营养元素的吸收会产生拮抗作用 (antagonism)，超量施用钾肥，会造成作物缺钙和缺镁。唯有采用科学施肥，以氮、磷、钾配合其他元素合理与平衡施用，才可以达致作物高产、优质、高效的目标。

钙 (calcium 化学称号 Ca) 在植物体内能够和果胶质 (pectin) 结合, 成为果胶钙 (calcium pectates)。这种化合物是细胞壁结构中的主要成分, 因此钙素能维持细胞壁的完整 (maintaining cell wall integrity), 并且与钾一样, 能调节植物细胞内外液体的渗透流动 (osmoregulation)。

钙也能提高多种酶的活性, 例如调节细胞内能量贮藏与传递的 ATP 酶, 即利用钙作为酶活化剂 (enzyme activator)。

钙能促进光合产物在植物体内的输送 (accelerate the translocation of photosynthetic products), 因此对细胞分裂和根系的发育具有强化作用。

钙具有促进根毛吸收磷与钾的能力 (stimulate the absorption of phosphorus and potassium), 并能减缓一些有害元素如钠 (sodium) 和铝 (aluminium) 对作物的不良影响。

植物含钙量一般占干重量的 0.2% 至 0.7%, 双子叶植物 (dicot) 含钙较单子叶植物 (monocot) 多, 例如: 属于双子叶植物的黄瓜和番茄, 比属于单子叶植物的水稻、小麦和玉蜀黍, 含有更多的钙素。

植物对钙的吸收, 会受到不同种类氮肥的施用而产生明显差异。硝酸氮 (nitrate nitrogen, $\text{NO}_3\text{-N}$) 能促进植物对钙的吸收; 反之, 铵氮 (ammonium nitrogen $\text{NH}_4\text{-N}$) 却抑制钙的吸收 (inhibition on calcium absorption)。

植物体内三种钙质

植物体内大量的钙是以草酸钙 (calcium oxalate)，碳酸钙 (calcium carbonate) 和磷酸钙 (calcium phosphate) 的结晶贮存于细胞内，不易从老叶转移至新叶。因此，农作物缺钙的症状，最先在幼叶上浮现。水稻缺钙的症状是刚长出来的嫩叶卷曲皱缩，叶尖仿佛经过漂白 (bleached) 而呈灰白色，并且曲卷成弯钩状，叶缘逐渐焦枯。严重缺钙时，顶端叶完全枯死。

番薯缺钙会造成生长点死亡 (death of the growing point)，嫩叶淡绿，老叶出现褪色斑点。

菊花缺钙，顶端叶卷曲萎缩，其他新叶出现褐斑，叶脉间有黄化现象。

蔬菜缺钙会使新叶的叶缘退绿、叶片卷曲，不过老叶继续保持翠绿。缺钙的蔬菜易感染疾病而腐烂。

黄瓜缺钙造成植株矮化，嫩叶向上卷曲，叶缘出现白色透明的斑点，花朵缩小，瓜味平淡质劣。

番茄缺钙会使顶端叶黄化、植株下垂，果实易染病。

芒果缺钙，果皮毫无征状，然而果肉却褪色软腐糜烂。未熟芒果破裂，往往因为细胞壁缺钙弱化，而于亢旱后因多雨导致内部压力突然增加造成。

碳酸钙 (calcium carbonate，含 40% Ca) 是最常用的钙肥，作用缓和 (slow acting)，能中和土壤酸性 (neutralises acid soil)。其他钙肥包括硫酸钙 (calcium sulphate，亦称 gypsum 含 23% Ca) 和氯化钙 (calcium

chloride 含 18% Ca)。

最新研发的 Humibox Reaktiv 超幼液状碳酸钙，将直径小至 5 微米 (0.005mm) 的钙素颗粒悬浮于液体中，以喷灌 (overhead sprinkler)、滴灌 (drip irrigation)、背包点灌 (knapsack sprayer point application) 以及淋灌 (drenching) 等方法施用于烟草、果菜、叶菜、西瓜、花卉、草皮和水稻等，证实远较普通石灰粉更快速降解土壤酸性，减少作物受到铁毒和铝毒 (iron and aluminium toxicity) 的伤害，促进土壤活性，为农民省时、省工，同时更易储藏，并且减低运输与施用成本。

蛋白质叶绿素合成

硫 (sulphur, 化学称号 S) 对蛋白质的合成 (protein synthesis) 与叶绿素的形成具有重要的作用。植物体内三种含硫氨基酸，即蛋氨酸 (methionine)、胱氨酸 (cystine) 和半胱氨酸 (cysteine) 都是组成蛋白质的必需成分。

硫也出现于一些生物活性物质内，如维生素 B₁ (thiamine) 和维生素 H (biotin) 之中。这两种维生素直接影响碳水化合物的代谢作用 (carbohydrate metabolism)，对植物的根系发育和谷穗的形成非常重要。

硫能调节植物体内的氧化还原作用 (regulates oxidation-reduction reactions)，能减少亚铁离子 (ferrous iron) 对稻根的危害。

硫在植物体内约占干重量的 0.2% 至 0.5%。十字花科

镁调节植物酸硷度

镁 (magnesium, 化学称号 Mg) 是构成叶绿素的金属元素, 对光合作用, 二氧化碳的同化作用 (CO_2 assimilation) 和蛋白质的合成 (protein synthesis) 起着重大的影响。

镁也是植物体内许多酶的活化剂, 尤其对乙酰辅酶 A (acetyl coenzyme A) 的形成非常重要, 是脂肪代谢 (lipid metabolism) 过程中不可或缺的元素。镁也促进维生素 A 和维生素 C 的合成。

镁和钾一样, 能调节植物细胞的酸硷度和正负离子间的平衡 (regulates cellular pH and cation-anion balance), 使细胞生长正常。植物含镁一般约占干重量的 0.2% 至 0.6%。由于镁素可以在植物体内轻易游移运转, 能由老叶输送至新叶, 因此缺镁的症状首先出现于老叶。

作物缺镁时, 最显著的特征是老叶的叶脉之间失绿黄化, 出现黄绿相间的现象, 严重时老叶枯萎, 植株变成黄色。

蔬菜缺镁时, 老叶的主脉和侧脉间逐渐褪绿黄化, 植物生长缓慢。

番茄缺镁, 叶片向下卷曲, 叶脉保持绿色, 脉间的叶肉则失绿变黄, 严重时老叶最先干枯凋萎。

木薯缺镁, 老叶脉间失绿, 从叶边向内逐渐扩展, 出现黄绿相间的条纹。

水稻缺镁时, 脉间黄化 (interveinal chlorosis) 最先出

现于老叶，然后逐渐蔓延至新叶，叶脉的绿色呈球串形（green colouring appears as string of beads），叶片下垂、穗小，千粒重降低，米质变劣。

超量施用钾肥和钙肥，能在低镁素的土壤引发拮抗作用（antagonistic effects），造成缺镁症状的出现。

在马来西亚，最常用的镁肥是硫酸镁（magnesium sulphate，亦称 Kieserite 含 17% Mg），其次是碳酸镁和钙结晶组成的白云石（dolomite 由 magnesium carbonate calcium carbonate 结合而成，含 13% Mg）。

硅能促进稻作增产

硅（silica，化学称号 Si）在一般作物的生育过程中，是否具有重要的生理作用，仍然是植物营养学家正在努力探索的研究课题。然而，硅对稻作的增产效果已一再获得田间试验确定，不存异论。

根据国际水稻研究所报导：在日本和韩国，硅石熔渣（silicate slag）施用于贫瘠的稻田中能增产约 10%；若施用于稻瘟病猖獗的地区，增产效果甚至逾 30%。

水稻是吸收硅素最多的作物，硅在稻秆中的含量介于 2% 至 10%，一般平均约 5% 至 6%。国际水稻研究所估计：每生产 1000 公斤稻谷，需要从土壤中吸取 50 至 110 公斤硅。假设每生产 1000 公斤稻谷从土壤吸取 80 公斤硅，那么一公顷每季平均生产 6 吨的水稻，将从土壤移去 480 公斤的硅。在收割之后，80% 经过吸收的硅存留于稻秆

中。每一吨稻谷从土壤取走约 15 公斤硅素。

硅能使表皮细胞硅质化，从而增强机械强度，使稻叶直立，减少叶片间的相互覆盖，提高水稻群体的光合作用效率（formation of a thick silicated epidermal cell layer helps to maintain erect leaves and enhance photosynthesis）。

硅能防御病虫害的侵袭，硅质化的表皮细胞是抗真菌，昆虫和螨类的屏障（a thick cuticle-silicon layer serves as a barrier against fungi, insects and mites）。

硅能提高磷素的吸收，促进水稻茎叶将氧输送至根部，减低土壤中铁和锰的危害（increases phosphorus availability, enhances the oxidation power of roots, alleviates iron and manganese toxicity）。

硅能降低蒸腾作用所消耗的水分，从而增强用水效益（reduces transpiration losses and increases water-use efficiency）。

缺硅的稻叶柔弱下垂（soft and droopy），稻株容易倒伏。

在培育作物的过程中，多观察各种作物于生育期间的长势，形态特征，叶色变化，然后根据特殊征状所作出的诊断，策划一套合理的施肥方案，将能避免作物因为营养元素失衡而欠收。

微量元素与作物栽培

食物中的每一种营养，对维持人体的健康都同样重要。例如碘 (iodine) 在我们日常生活中的需要量，虽远较氮、磷、钾和钠低，然而如果食物中的碘一旦供应不足，就会出现脖子粗胀的甲状腺肿大 (iodine-deficiency goiter)。甲状腺 (thyroid) 分泌的激素不足，患者会常感疲累乏力、昏昏欲睡、脉搏缓慢、性能力衰退。甲状腺功能不正常的病人，每天吃一匙含碘量约 4 毫克 (4mg) 的海藻，健康就能日益改善。同样的，植物对微量元素如铁、锰、铜、锌、钼和硼的需要量很少，远远低于对氮、磷和钾的需求，然而一旦微量元素缺乏，作物将无法正常工作，原因是微量元素是组成植物体内酶 (enzymes)、维生素 (vitamins) 和生长激素 (growth hormones) 的重要成分，直接参与细胞内的代谢过程；如果供应不足，植物将会因为生理异常而枯萎。

缺铁——水稻叶脉叶肉黄化

铁 (iron，化学称号 Fe) 在植物体内参与氧化还原过程 (oxidation-reduction reactions)。氧化还原反应是发生

在分子间的电子转移 (electron transport)，还原反应实质上是加电子，例如三价铁 (Fe^{3+}) 加上一个电子，就还原为二价铁 (Fe^{2+})；反之，氧化反应实质是失电子，例如 Fe^{2+} 失去一个电子，就氧化为 Fe^{3+} 。有机物在细胞里被氧化而分解之后，即释放能量，例如一克葡萄糖的分子完全氧化为二氧化碳 (CO_2) 和水 (H_2O) 时，就能释放出 686 千卡 (K Cal)。在光合作用 (photosynthesis) 中，铁卟啉蛋白质 (iron porphyrins 和 ferredoxin) 细胞色素，也同时是电子的载体 (iron is an important electron acceptor in redox reaction)。在气化还原反应中，铁卟啉中的铁离子最后将电子传递给氧。

此外，铁也是某些酶的活化剂，例如过氧化氢酶 (catalase) 能将过氧化氢 (hydrogen peroxide) 这种有毒的代谢废物分解成水及氧气。缺铁可能阻碍植物对钾的吸收 (iron deficiency may inhibit potassium absorption)。

由于铁与叶绿素的合成及稳定性有关，同时不易移动，因此，作物缺铁时，叶片变小，叶脉间呈黄化 (interveinal yellowing) 的征状首先出现于嫩叶上。严重缺铁时，整片新叶变黄枯死。

菊花缺铁，新叶呈黄白色，不易结蕾。

玫瑰缺铁，新梢顶端叶退绿，植株生长衰弱，严重时叶尖和叶缘向内焦枯，最终死亡。

水稻缺铁现象主要出现于山地土壤 (upland soils)，新叶的叶脉间叶肉黄化 (interveinal chlorosis of emerging leaves)，严重时植株矮缩叶片狭小。

水稻于分蘖期间，叶片含铁量低于百万分之七十（70ppm），缺铁现象开始出现。然而若含铁量超过百万分之三百（300ppm），稻株又会因为土壤中的三价铁被还原为二价铁（亚铁）而出现毒害现象。严重受害时会在叶面出现褐红色锈斑，同时发生根腐和僵苗症状。

缺锰——稻株矮化叶数减少

锰（manganese 化学称号 Mn）也像铁一样，参与氧化还原过程和活跃于电子转移系统内。锰也能活化某些酶，例如氧化酶（oxidase）、脱氢酶（dehydrogenase）以及控制多种生化反应的激酶（kinase）。

锰的其他功能包括：

- 促进叶绿体的形成，并使其保持稳定（formation and stability of chloroplast）。
- 参与蛋白质的合成（protein synthesis）。
- 参与三羧酸循环（tricarboxylic acid [TCA] cycle）。此循环包含糖类氧化的一连串重要反应。
- 锰能减低作物在还原物质大量积累时出现的亚铁毒害（mitigates against iron toxicity under reduced condition）。

水稻缺锰现象最常发生于山地旱田与低锰有机土壤（upland and organic soils with low manganese status）。

水稻缺锰，新叶的叶尖首先出现叶脉间黄化，褐斑（necrotic brown spots）的出现一般较迟。缺锰的稻株矮

- 促进激素的代谢 (enhance hormone metabolism) 。
- 调节光合作用与呼吸作用 (regulate photosynthesis and respiration) 。叶绿体中含有较多的铜。除了影响叶绿素的合成之外，还能提高叶绿素的稳定性，避免叶绿素过早在降解作用 (degradation) 中受到破坏。
- 促进花粉形成与受精作用 (facilitate pollen formation and fertilization) 。
- 促进木质素的合成 (lignin synthesis) 。木质素有如强力黏剂，能够巩固细胞壁的纤维素 (cellulose) ，增强细胞壁的张力，因此能提升细胞的防卫机制 (strengthen cellular defense mechanisms) 。

铜在稻秆中的含量一旦低于百万分之六 (6ppm) ，缺铜现象就会出现，然而铜含量超过百万分之三十 (30ppm) ，又会引发毒害作用。

水稻缺铜将引起缺绿症，黄化条纹在叶片中脉两旁出现 (chlorotic streaks on either side of the midrib) ，叶端出现深褐焦痕 (dark brown necrotic lesions on leaf tips) 。缺铜的新叶不能正常舒展，叶端卷缩成针形 (leaf tip maintains a needle-like appearance) 。分蘖减低，花粉的活性下降，形成颖花不育，空粒增加 (increased spikelet sterility and many unfilled grains) 。

菊花缺铜时，新叶的叶尖退绿，叶面接着出现黄色斑点 (yellow mottles) 严重缺铜时，斑点扩大成深褐色，植株瘦弱。

果树缺铜，幼叶的叶尖与叶缘焦枯坏死，严重缺铜时，果树可能枯萎。

由于铜能提高果实含糖量，缺铜的果树一般果实品质低劣，果皮色泽缺乏光彩。

缺锌——稻田植株生长不匀

锌 (zinc, 化学称号 Zn) 在植物体内参与的主要生物化学作用包括：

- 植物生长素的形成 (auxin formation)。植物生长素是一种植物激素，可以调节细胞分裂以及细胞伸长作用 (cell elongation)。锌促进色氨酸 (tryptophan) 的形成，而植物生长素吲哚乙酸 (indole acetic acid, 简称 IAA) 是由色氨酸这种前驱物 (precursor) 转化而成，因此作物缺锌时，生长将严重受阻。
- 蛋白质的合成 (protein synthesis)。锌在细胞中的核糖体 (ribosome) 内转化为核糖核酸聚合酶 (RNA polymerase)，参与遗传讯息的解读 (participates in the manifestation of genetic information)，对蛋白质的合成起着关键性作用。
- 叶绿素的生产与酶的活化作用 (chlorophyll production and enzyme activation)。

国际水稻研究所 (IRRI) 的调查显示，不少国家的水稻缺锌现象有日益增加的趋势。水稻缺锌征状在移栽或直

播后二至四星期内逐渐出现，植株生长不均(uneven plant growth)，分蘖锐减甚至完全停顿，生长期延长(time to crop maturity increases)。稻株基部叶片的叶尖干枯，叶片中段锈斑扩大呈条状或块状(dusty brown blotches and streaks on lower leaves)，新叶叶片变小，褪绿黄化，白色条纹偶尔沿着新叶中脉出现(a white line sometimes appears along the leaf midrib)，植株矮缩，产量剧降。

蔬菜缺锌会引发“小叶病”，枝顶叶片黄化畸形。

菊花缺锌，中部叶片逐渐褪色，叶脉间黄化，褐斑遍布其间，不长花蕾。

玉蜀黍缺锌，幼苗会出现白苗征状。

番茄缺锌，植株出现密生成丛的小叶，新叶出现黄斑。

缺钼——氮代谢作用难

钼(molybdenum，化学称号Mo)在高等植物中，是硝酸还原酶(nitrate reductase)的主要成分，因此作物在氨基酸与蛋白质的合成过程中不能缺少钼。钼在生物化学反应过程中扮演电子运送与承接的角色(Mo takes part directly in electron delivery and acceptance)。

高原作物(upland crops)吸收的氮素以硝酸(NO_3^-)为主，缺乏钼时氮代谢作用(nitrogen metabolism)无法进行，引起作物缺氮。水稻吸收的氮素以铵态氮(ammonium, NH_4)为主，因此对钼的需要量较低。

再生稻的培育

喜欢园艺的朋友肯定会注意到，在同一棵花树或果苗上，干茎顶端的嫩芽，一般的发育较茎旁的侧芽快速丰茂。如果花树的顶芽 (apical buds) 蓬勃生长，那么它下面的腋芽 (axillary buds) 长出来的旁枝则缓慢延伸。然而，一旦将顶芽剪断、摘除，或者茎端遭受风雨摧折，或因虫害侵袭而伤损，那么，平常不大显眼的腋芽，就会于短期间从休眠状态中苏醒，并且旺盛茁长。这种现象，在植物生理学中称为顶端优势 (apical dominance)。

收割后再生长稻株

顶端优势的形成与植物生长素 (auxins) 息息相关。由主茎 (main stem) 顶芽产生的生长素，不断从上而下往其他组织输送，并且逐渐积纍于腋芽的部位，抑制腋芽的生长。一旦摘除了顶芽，造成植物生长素的来源中断，无法继续发挥抑制作用，腋芽就会摆脱来自顶芽的生理束缚，发育成枝。

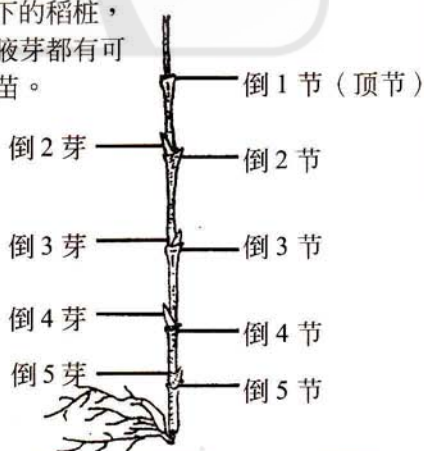
收割后的稻田里，如果水分供应充足，残留在田里的稻桩 (stubbles)，往往在短期内又再长出苍翠油绿的茎

秆，并且还会抽穗、开花和结实。这些能够再次收获的稻作，就是通过收割活动去除了顶端优势而形成的再生稻（rice ratoons）。

再生稻的培育，全靠头季稻留存下来的稻桩茎秆上休眠芽的存活能力（rice ratooning depends on the ability of dormant buds on the stubbles of the first crop to remain viable）。稻株上每一片稻叶的叶腋（leaf axil，拉丁名称 axilla folii）间都有一个腋芽，每一个腋芽都有可能生出分蘖。当头季稻完成营养生长而开始进入稻穗的分化过程中，茎秆上还没分蘖的腋芽，即潜伏而成休眠芽。由于稻株在地面以上的部分约有四至六个节（nodes），因此，通常能够长成再生稻的休眠芽数，也介于四至六个之间。

再生芽的分布图

头季稻收割留下的稻桩，
每个茎秆上的腋芽都有可能
长出再生稻苗。



遗传影响再生能力

根据国际水稻研究所 (IRRI) 的田间试验, 稻作的再生能力深受遗传因素影响; 具有充沛活力的头季稻根系, 更是再生稻成功培育的主要关键 (a vigorous main crop root system is a prerequisite for a successful ratoon crop)。田野观察证实, 培植再生稻之前, 必须先考虑光照、气温、土壤湿度、土壤养分和栽培管理等基本条件, 始能事半功倍, 庆获丰收。

影响再生稻整体表现的要素包括:

· 收割留桩高度 (cutting height)

不同稻作品种的腋芽, 其再生能力都有很大的差异; 有的品种只能由高节位 (high nodes) 的腋芽再生, 因此收割时必须离地面较高, 以留存和保护高桩 (high stubbles) 上的再生芽。反之, 有的品种却能长出接近田面的基部再生稻 (basal ratoons), 因此收割留桩的高度, 对这类再生稻的生长影响轻微。在热带普遍栽植的籼稻 (indica rice), 一般上处于高节位的再生芽, 存活率较高; 接近地面的低位芽, 死亡的机率则较大。然而, 无论收割留桩高或者低, 再生稻的有效分蘖, 主要还是来自头季稻的基部, 而非上部的节位 (the effective ratoon tillers grow from the base of the plant, not from the upper nodes)。头季稻的收割高度, 一般以离地 15 至 20 厘米为佳。

· 头季稻的收获期 (time of first crop harvest)

根据任昌福与刘保国编著的《再生稻培植技术》(北京农业出版社出版), 头季稻收获后的前10天左右是再生苗大量发生的时期, 15天以后发苗数减少, 且不易成穗。收获后 20 天左右, 再生苗的发生基本停止。

壮硕的头季稻是促成再生稻长出有效穗的基础, 一般最适宜再生稻蓬勃生长的头季收获期, 是正当大部分头季稻的茎秆 (culm) 仍然青葱坚挺, 茎上的穗粒仍未过熟的时候。

澳洲的研究显示: 头季稻若延迟至开花后 44 天至 56 天才进行收割, 再生稻的生长期将会缩短, 而结穗率将会下降。若于正常成熟期 (即开花后 30 天左右), 或稍为推迟至开花40天之后才进行收割, 再生稻的收成一般不会受到显著的影响。

· 环境状况 (environmental conditions)

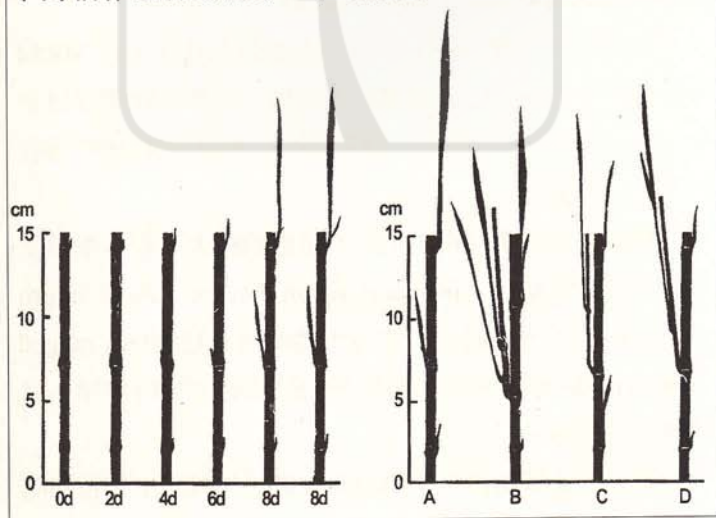
中国的研究显示: 最适宜再生稻芽萌茁的日均温度为 26°C, 高温将抑制再生芽的生长, 而低温将延长再生稻的生长期 (low temperature prolongs ratoon crop growth duration)。

此外, 大气湿度、降雨量和降雨日数也会影响再生稻的生长。适宜再生芽发育的相对湿度 (relative humidity) 约为 80% 至 85%。再生稻开花至成熟期间如果雨水多, 日照少, 温度低, 光合作用进行缓慢, 将导致空壳率上升, 产量剧降。

的产量。日本的研究指出：头季稻成熟初期至收割期之间，施肥能提高再生稻的产量；而氮与磷肥在头季稻收割前一星期施用，对再生稻的成长最有利（applications of N and P fertilizers one week before main crop harvest are most effective for ratoon rice cropping）。

中国四川省农科院的研究证实：在再生稻孕穗期以0.3%的磷酸二氢钾（potassium dihydrophosphate）作叶面喷施，能使再生稻产量增加17%。

不同稻作品种的腋芽，在萌发再生苗时的状况迥异。



再生稻期短占优势

在东南亚，由于再生稻产量低而不稳，稻农只作零星蓄留以增加收入，并未形成一种稻田耕作制度。在中国，自从1970年代后期积极推广杂交水稻的种植，杂交水稻的再生栽培研究证实：再生稻具有巨大的增产潜力。近年来在大面积种植方面，再生稻已能获得每公顷超过5吨的收成。美国从1960年代初期开始大面积利用再生稻，获取了庞大的经济效益。根据美国农业部的文献，1980年代末，美国南部的 Texas 与 Louisiana 州内，大约50%的稻田于头季稻收获后续培再生稻。

再生稻最大的优点是省种、省工、省投资，让农民更自由地将资源作其他用途（freeing up resources such as power, labor and cash for other uses）。

再生稻的生育期短，在马来西亚的慕达区，以 MR84 号品种作为头季稻培育出来的再生稻，一般生育期仅55至60天左右而已，产量每公顷约2至2.5吨，有利增产增收以及遇灾补歉。

病虫害与杂草对再生稻的产量影响极大，若头季稻受到病毒病如红稻病（penyakit merah disease，亦称 tungro virus disease）或由褐飞虱带毒传播的齿叶矮缩病（ragged stunt virus disease）侵染，再生稻的培植必须暂时停顿，以方便消灭病源。

因此，认真防治头季稻的病虫害，加强病虫测报和防治工作，才能保证再生稻的丰收。

绿禾金穗迎煦阳

——浅介吉打州的水稻与农村发展

久居吉打的人肯定会发现，最令人心旷神怡的颜色是翠绿和金黄。如果你经常驰骋于坦荡的吉打州北部大平原，你也肯定会发现，每年4月至6月和10月至12月，高速公路两旁常常翻掀着一望无际，随风起伏的绿浪；每年1月、2月和7月、8月，湛蓝如海的晴空之下，结实累累的稻穗铺展了广袤无垠的金毯，亲切地迎迓你的莅访。

16 世纪初蓬勃发展

历史学家认为，吉打州沿海的沼泽地带，于公元1世纪时，已有水稻在河岸疏落种植的痕迹。外国学者希尔(R.D.Hill)在“马来亚的稻米：一项历史地理的研究”(Rice In Malaya: A Study In Historical Geography)这本书中指出：吉打州于16世纪初农业发展已相当蓬勃，除了牛群与胡椒，水稻的大量生产，已足以供应当年的统治者，汇聚数目庞大的劳工来建设城堡。

19世纪末到20世纪初，英殖民地政府积极推广橡胶的大面积种植与锡矿的大规模开采，为当年马来亚的社会

经济发展奠定基石。这些行业需要大量劳工，因此大批来自华南与南印度的工人纷纷涌入马来半岛。政治的稳定与经济的繁荣促成了人口的迅速增长，源自吉打州的稻米往往供不应求。殖民地政府为了防止米粮的价格大幅度扬升而引发连锁反应，决定对米价进行各种人为操纵。稻农在无可奈何的困境中只好任人宰割，收入异常菲薄。据阿菲夫丁博士（Dr. Affifudin Omar）的研究，1912年的谷价每担（60公斤）平均只能获取当年的马币1元8角。由于绝大部分的稻农只拥有区区一公顷的耕地，单靠稻米低微的收入仅够糊口。许多稻农不但毫无积蓄，而且还寅吃卯粮。一旦旱涝出现，或者病害蔓延，造成颗粒无收，农村经济萎缩，稻农惟有听天由命，在水深火热中挣扎求存。

稻农内心的辛酸和愤懑，终于在1950年代汇聚成澎湃汹涌的怒涛。1954年，持续多月的严重亢旱，造成吉打州和玻璃市州内大片稻田龟裂，稻禾枯槁，水井干涸，溪河断流，成千成万稻农的命运犹如涸辙之鲋。这些身陷困厄的贫农决定化悲愤为力量，结盟于吉打州稻农协会（Kesatuan Tani Kedah）的旌旗之下，由一群乡村回教教士率领，向殖民地政府施加压力，要求政府体恤民艰，拨款以济燃眉之急。当年的联邦政府也了解到事态严重，终于作出重要决策，设立了救灾基金。在马币955万元的总拨款中，吉打州稻农获得460万元，玻璃市稻农获得90万元。

1955年成立稻农公会

当年的吉打州政府在苏丹殿下的恩准之下通过州立法议会，于1955年成立了稻农公会（Lembaga Kemajuan Penanam-penanam Padi），全权处理这笔救灾基金。许多贫农从中受惠，通过贷款将抵押出去的田地赎回。

1957年国家独立之后，乡村发展开始获得重视，许多大型农业计划被提呈出来热烈讨论，其中最庞大的慕达灌溉计划（Muda Irrigation Scheme）经过1961至1964年的详细策划之后，于1965年获得世界银行贷款美金4千500万元，并于1966年开始如火如荼地推行。

建设慕达柏都水坝

慕达灌溉计划工程浩大，除了建设慕达（Muda）与柏都（Pedu）两个大水坝之外，还在9万7千公顷的水田里开浚2千余公里的灌溉水道与排水渠，铺设1千余公里的田间道路与100公里的沿海防波堤。这项计划的主要目的，是通过双季稻的种植，提高白米的生产以及增加稻农的收入。

耗资马币2亿4千500万令吉的慕达灌溉计划，于1960年代中期曾面对来自农民的强大阻力。当年吉打州绝大部分的水田里普遍栽种的是生育期漫长的传统水稻品种。这些对光周期（photoperiod）具有敏感反应的稻种，只适合单季种植。为了配合双季稻的拓展，慕达农业发展局接二

连三地向稻农推介生育期短，分蘖力强，根系发达，秆茎短硬和穗大粒多的高产品种。这项以良种为主导，配合改善灌溉设施和强调合理施肥的革新运动，在农业文献中被誉为绿色革命（The Green Revolution）。

马来西亚农业部深切了解绿色革命是改善民生的原动力，谆谆嘱咐思想保守的稻农改变陈旧的观念，勇于接受崭新的农耕技术。农业部也鼓励稻农积极参与慕达农业发展局设立的农民协会（Persatuan Peladang，1979年后与乡村合作社合并成为Pertubuhan Peladang），群策群力，汇聚资金与力量为乡区的建设推波助澜。

慕达灌溉计划于1970年初开始，分五个阶段循序渐进协助稻农获取机械、种子、肥料来配合水供进行双季稻种植。由于策划周详，农民组织完善，灌溉区内92%的稻田，于1974年已实现了一年两熟的梦想。世界银行于计划推行之前预估，这项庞大投资的经济效益（economic rate of return）为10%，然而由于计划中的单位面积产量比预期高以及生产成本比预期低，结果经济效益竟高达18%。慕达灌溉计划为国家的经济繁荣作出积极的贡献，并因此成为绿色革命中一个成功的典范。

除了慕达计划区之外，吉打州其他县内的稻田也从水利发展中受惠。整个吉打州内14万4千928公顷的稻田所生产的白米，约占全国总产量的一半，回顾过去卅余年农业发展的轨迹，我们肯定会发现：稻作品种改良是达致高产稳产的关键。吉打州于1950、1960年代的传统稻种，每公顷仅能获取1.5至2.5吨的谷产。1964年引介了马琳

雅 (Malinja) 和 1965 年引介了马苏莉 (Mahsuri) 两个适合双季种植的品种之后，谷产开始提升至每公顷 3 至 4 吨。1970 年代初广泛种植的幸福稻 (Bahagia) 能达到每公顷 5 吨。1980 年代的 MR1 号更进一步取得每公顷 6 至 7 吨的收成。1990 年代的 MR84 号与 MR185，再跨前一步，在良田中可获取 8 吨的收成。21 世纪初期，MR219 与 MR220 在慕达区内管理完善的水田中，更超越每公顷 10 吨的水平。整体而言，慕达区内的稻产，已从 1960 年代末期每公顷年产约 3 吨，提升至 2001 年每季平均 5 吨。或年产 10 吨的稻谷收成。

占全国总产量一半

稻谷产量增加，配合了生产成本因全面农耕机械化的推行而下降，使稻农有机会谋取更高的利润。慕达农业发展的社会经济研究揭示：慕达区内 6 万 3 千个农户于 1966 年的平均年收入为每户马币 1 千 92 元。由于当年缺乏灌溉设施，稻农每年只能种单季稻，他们也没有足够的资金购买机械和肥料；一旦稻病与害虫来袭，绝大部分稻农都无从获取贷款来施用农药。贫穷将稻农困囿于难以摆脱的恶性循环 (Vicious Cycle) 中，高达 72% 的稻农经年累月以借贷度日，苟延残喘。经过多年的努力，稻农的生活已因双季稻的种植而大为改善。每个农户于 1992 年的平均收入已达马币 9 千 220 元，生活于贫穷线下的稻农下降至 18%，其中仅 5% 属于需要救援的赤贫人士。1960 年代，

许多稻农穿的是以面粉袋裁剪而成的衣服，储蓄少到买不起一辆脚踏车，大部分的农舍是简陋的阿答屋。如今许多稻农的孩子都有机会接受大专教育，丰衣足食；不少稻农的砖屋庭前停放着汽车和摩托车，绝大部分的稻农家里都有雪柜和电视机，不少稻农更以手机互相联络谈生意。慕达农业发展局为了响应农业部的号召，竭力将稻产提升至每公顷10吨的水平，目前正积极鼓励农民互相合作，扩展以园坵管理方式(*estatisation*)大规模种植水稻。当局期望通过商业化和现代的农耕技术，进一步提升稻产和降低成本，使每户稻农于2005年达至马币1万6千元年收入，并且再接再厉，于2010年吉打州成为先进州时，将每户稻农的平均年收入，提高到2万4千元的水平。

农民协会表现激赏

过去，稻农散居于交通不便的乡区，福利常常受到忽略。自从慕达农业发展局于1960年代中期将整个灌溉区划分为廿七个行政单位(*Locality*)并且在每个行政单位中建立一间农民协会，为单位之内约两千户农家提供农业贷款、机械、销售、运输和谘询等服务。这廿七间农民协会于过去卅余年期间，不断扮演下情上达的角色，成为传递稻农心声与诉求的最佳管道。由于农民协会的表现令人激赏，许多稻农纷纷加入。至2001年为止，慕达区内四万八千七百八十七家农户(77%)已加入农民协会成为会员。这群稻农经过多年集腋成裘，共累积了910万元资金。农

民协会从事肥料、农药、种子以及各种与农业有关的商业活动，生意高达马币9千余万元，每年的盈余约三、四百万元。这些农会不但拥有数目庞大的屋产和地产，而且还汇集资本成立了一间贸易公司(Syarikat Perniagaan Peladang MADA，简称SPPM)，积极参与多项国内投资。

水利设施改善农业

随着吉打州内于1990年代增建了安宁水坝(Ahning Dam)之后，另一个重要的水利设施霹雳斯水坝(Beris Dam)将于2003年建竣，为南部的水田与居民供水。水利设施的改善与农业多样化将使吉打州在水果种植、蔬菜生产，淡水养殖方面尽力发挥潜能，提升乡村发展。

21世纪的农业强调可持续的发展(Sustainable Development)，因此，当吉打州的稻农正士气高昂，准备继续跨步向前，从小康水平朝向富裕水平迈进，水稻的种植有必要着重土地利用率的提升。在农村里调整结构，然后因地制宜，实行精耕细作，将劳动力密集置换为科技密集，从而提升单位面积的产量和质量。与此同时，更进一步改善水利与其他农田基本建设，并且不遗余力去增进生态环境持续性与社会经济持续性完美无间的结合，肯定能将吉打州塑造成人间乐土，繁荣昌盛，吉祥平和。

向 21 世纪奔腾的稻浪

——首届国际水稻大会侧记

水稻、小麦和玉蜀黍，是全球最主要的三种粮食作物。全人类所摄取的热能，超过50%源自这三种作物。小麦的耕作面积最大，每年收获面积平均高达2亿1千400万公顷，水稻次之，共1亿5千400万公顷，再其次是玉蜀黍，共1亿4千万公顷。

在谷物的食用方面，水稻遥遥领先，85%的总谷产由人类直接食用，其次是小麦（72%），再其次是玉蜀黍（19%）。水稻毫无疑问是人类最重要的粮食作物，以全球9%的耕作面积，养育全球一半的人口。米饭是穷人最主要的粮食，在亚洲和热带的拉丁美洲，水稻为人民提供的热能远远超越小麦、玉蜀黍、木薯和马铃薯。

全球 114 国家种水稻

全球共有 114 个国家种植水稻，90%的总产量来自亚洲，其中超过 50% 来自中国和印度。中国于 2000 年的水稻播种面积共 3 千 50 万公顷，占世界稻谷播种面积的 19.8%，仅次于印度（4 千 460 万公顷，或 29%），然而中

国的稻谷于2000年总产1亿9千万公吨，占全球稻谷总产的31.8%，居世界第一；印度播种面积虽大，总产只达1亿3千400万公吨，或全球总产的22.4%。中国于2000年的稻谷单位面积产量为每公顷6.23吨，达到世界平均水平（3.89吨）的1.6倍；印度的平均单产为3.01吨，低于世界平均水平。

中国是全球最大的稻米生产国和消费国，同时也在世界水稻研究与发展领域中处于领先的地位，因此，首届国际水稻大会（International Rice Congress）于2002年9月16至20日在北京召开，意义重大深远。

江泽民主席出席开幕式时在重要的讲话中指出：考古研究表明，七千多年前，中华民族已创造了灿烂的仰韶文化和河姆渡文化，开启了有史以来可以考证的农业文明先河。江主席所提及的浙江省余姚县的河姆渡遗址，曾因炭化稻谷的出土，引起考古界、历史界和农业界的注目。农业科学家普遍认同：中国稻作起源问题与亚洲栽培稻的起源息息相关。

江泽民也告诉出席大会的嘉宾：中国粮食年生产能力，已由20世纪60年代初的2亿吨，提高到目前的5亿吨，以不足世界10%的耕地，养活了占世界22%的人口。中国12亿多人民温饱无虞，生活总体上达到小康水平。江泽民强调：中国科学家在国际植物基因组合作研究中取得重大进展，并且独立自主地完成和率先公布了水稻基因物理图谱和籼稻（indica rice）全基因框架图。他一再重申：这些成果是全人类的共同财富，应该用来为人类造福，并

且确保这方面的技术和研究成果，能让广大的发展中国家享有平等的使用机会。

七项令人注目议题

这届国际水稻大会由中国工程院、国家发展计划委员会、中国农业科学院和国际水稻研究所（IRRI）联合主办，并获得洛克菲勒基金（Rockefeller Foundation）、袁隆平农业高科技股份有限公司、第一龙浩农业策略控股有限公司和先正达公司（Syngenta Corporation）赞助。全世界共有超过一千位科学家出席这届大会。

国际水稻大会日程安排紧凑，在开幕式前一天，中国农业部的杜青林部长在大会地点，即位于北京的中国国际科学会展中心主持了部长级圆桌会议，主题是：鼓励水稻科学研究，确保粮食安全和减少贫困。水稻大会中多场同步进行的讨论会（symposia）或研讨会（workshops），议题涵盖面广泛深入，其中最令人瞩目的课题包括：

- 水稻基因测序、基因的发现和利用、分子标记（molecular markers）及其在育种中的应用。
- 水稻生理探研、增效光合作用以提高水稻产量潜力、水稻和气候的变化、肥料效率和作物管理。
- 水稻种质保存（conservation of rice germplasm）、作物遗传育种、野生稻外源基因导入栽培稻。
- 病虫害综合防治、应用生物多样性（biodiversity）持续治理病虫害、增强水稻对有害生物的持久抗性。

- 农民参与研究 (farmer participatory research)、农民与市场的联系、劳动力转移对稻作和性别影响、水稻对扶贫战略的作用、WTO 和扶贫。
- 提高水资源生产 (improving water productivity) 和水利用效率、农业用水管理政策。
- 稻米非食物利用 (non-food use of rice)、机械化和加工技术、粮食安全以及水稻研究成果的知识产权。

籼稻粳稻关系密切

自从科学家于2000年4月宣布成功绘制出第一本水稻基因组 (rice genome) 的工作草图, 全面剖析水稻 12 对染色体 (chromosomes) 内四万个基因的密码, 科学家锲而不舍的探研揭示: 许多不同物种的基因, 在染色体中具有相同的 DNA 序列。这种共序现象 (synteny) 在禾本科植物中尤其明显, 例如: 水稻和小麦、玉蜀黍之间有许多基因聚合模式非常相似 (similar gene clustering patterns)。中国植物遗传学家也发现: 亚洲栽培稻中的籼稻 (indica) 和粳稻之间关系密切, 籼稻比粳稻在进化的过程中更早出现, 由于粳稻的演化较迟, 其基因组也因嵌入 (insert) 较多 DNA 而变得较繁杂。中国目前正积极推展功能基因组 (functional genomics) 的研究, 以期精准地识别和确定水稻基因的功能 (effective determination of gene functions), 并建立植物细胞基因库, 贮备有用的遗传材料, 作为培育高产、优质、抗逆和低耗良种的育种资源。大会也深入讨

论如何创建遗传图谱，将均匀分布于染色体中的基因进行定位，确认重要的标记 (genetic markers)，破译水稻与病原体的遗传特征，探索水稻白叶枯病的病原菌毒力 (virulence of the causal organism of bacterial leaf blight)，从遗传根源揭示病菌和寄主 (host) 的联系，并将这些研究成果运用于发展疾病诊断技术，提升疾病防治的效率。

气候改变影响稻作

在大会中提呈的论文，有好几篇广泛探讨水稻光合作用的增效与全球气候改变对稻作的影响。20世纪工业高度发展，消耗大量煤炭、石油和天然气，加上森林受到大肆砍伐，造成大气中二氧化碳 (CO_2) 的含量逐年增加。 CO_2 能强烈吸收地面发出的长波辐射，并通过大气逆辐射方式将热能送回地面，致使地表的热量释放减少，形成温室效应 (greenhouse effect)。理论上光合作用，用水效益和稻作成长会因大气中 CO_2 的增加而提高，然而温室效应造成气温增高却对重要的光合作用酶，如二磷酸戊糖羧化酶及加氧酶 (ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase，简称Rubisco) 产生负作用，致使水稻产量下降。利用分子工程 (molecular engineering) 的技术，将属于4碳植物 (C_4 plants) 的玉蜀黍基因，转入属于3碳植物 (C_3 plants) 的水稻染色体中，能使转基因水稻在进行光合作用时，增加对空气中 CO_2 的吸收。美国华盛顿州立大学尝试以基因改良来提高水稻的光合率与固定 CO_2 的效率，进而增加稻谷

产量的努力，令人激赏。中国目前也加紧进行基因工程的研究，最新培育出来的超高产栽培稻（super high-yielding rice cultivars），比常规水稻与普通杂交稻的光合率高，对各种生理障碍，如低温冷害和高温热害等的抗逆能力更强，主要原因是这些超高产的稻作品种，在出穗前稻株的碳水化合物积累（carbohydrate accumulation）和出穗后的光合能力（photosynthetic capacity）高，即使受到高温天气影响，仍然能够减轻这些不利因素的干扰而达致高产稳产。

保存种质育种基础

从育种学的观点出发，水稻种质保存是培育优良品种的物质基础。稻种资源主要来自本地资源、外地资源、野生资源和人工创造资源。由于城市发展和公共设施的扩建，许多野生稻种和过度类型逐渐消失。自从绿色革命引进的改良品种取代了形形色色的地方品种之后，许多本地品种资源已受淘汰。如果不及时搜集和保存，未来的育种工作将因遗传资源的贫乏而无法更上层楼。

全世界稻属（genus）的种（species）经过分类约有廿五个，其中栽培稻只有两个种，即亚洲栽培稻（*Oryza sativa*）与非洲栽培稻（*Oryza glaberrima*），其余廿三个都属于野生稻。亚洲栽培稻的祖先种是“普通野生稻”（*Oryza rufipogon*）。由于野生稻于非栽培的自然生境（natural habitat）中长期受到严峻的考验，在强大的选择压

力之下形成高度的适应性和坚韧的抗逆能力，这些可贵的性状在栽培稻中往往不易获取。

利用先进的育种技术来进行栽培稻与野生稻种间杂交（interspecific introgression），例如将野生稻对褐飞虱的抗性转移入粳稻，已选育出具有抗虫性状的新品系。

中国杂交水稻之父袁隆平教授在提呈论文《中国超级杂交水稻育种最新进展》时揭露：通过籼粳水稻亚种杂交优势（indica / japonica intersubspecific heterosis）的充分发挥，中国育种学家已在廿余个示范区里取得每公顷平均谷产超过10.5吨的收成。这些超高产的杂交水稻在大面积商业种植（23万5千公顷）时，于2000年每公顷平均产量是9.6吨，而2001年的平均产量为9.2吨。中国也成功将小粒野生稻（*Oryza minuta*）的基因转入栽培稻，选育出高产、优质与抗逆性强的品种。

近年研究成果

水稻育种改良，常受抗源限制，例如缺乏恰当的抗源，或者抗源过于单一，或者病虫害对抗源已产生适应。育种学家在大会中广泛探讨如何通过远缘杂交将外源抗性基因导入，培育遗传基础复杂的抗虫、抗病品种。拉丁美洲的育种学家已成功将普通野生稻的抗稻热病（blast）与纹枯病（sheath blight）基因导入栽培稻。

探索导入外源抗性基因的新途径，是加强病虫害综合防治（integrated pest management）的主要关键。育种学家

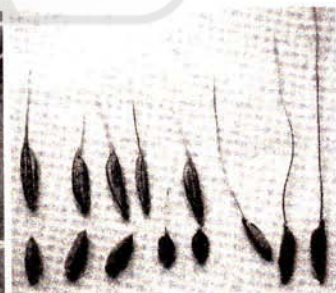
们近年来研究成果累累，对持续农业（sustainable agriculture）的发展作出重大贡献，令人肃然起敬。

与为期 5 天的国际水稻大会同步进行的水稻产业、技术及机械设备展览会，项目繁多，琳琅满目。中国水稻研究所、安徽省农业科学院水稻研究所、云南省滇型杂交水稻研究中心展出的各种早熟、丰产和品质优良的杂交水稻新组合，予人深刻的印象。在最新育成的各个品种中，广西象州黄氏水稻研究所培育的“槟榔红香米”，云南省滇型特殊米如“香糯米”和“香紫米”，合肥丰乐种业股份有限公司培育的“国丰一号”和“丰两优一号”，皆引人注目。

出席国际水稻大会，与各国科学家交流切磋，使我深深感受到：面对 AFTA 与 WTO 对马来西亚农业发展的影响，我们迫切需要开拓新的战略思路，以技术创新、组织创新和教育创新来面对 21 世纪越来越强烈的挑战！



亚洲栽培稻的祖先
种是普通野生稻。



各类野生稻的种
子大小不一。

名词解释

Aerenchyma · 通气组织

薄壁组织内的胞间隙 (air-filled intercellular space)，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。通气组织在水生植物 (aquatic plants) 体内非常普遍。

Aerobic respiration · 有氧呼吸

需要氧来进行的呼吸。细胞呼吸主要是属于有氧呼吸。葡萄糖在完全氧化后，释放能量与二氧化碳(CO₂)。

Anaerobic respiration · 缺氧呼吸或无氧呼吸

不需要利用氧的呼吸，酵母菌和无氧菌以无氧呼吸作为能量供应的途径。高等动物在短暂的无氧呼吸中产生乳酸 (lactic acid)，而菌类与植物进行无氧呼吸的副产品是酒精 (alcohol)。

Anther · 花药

雄蕊的花丝 (filament) 末端包含花粉囊的部分，里面含有花粉粒 (pollen)。

Awn · 芒

某些禾本科植物 (Poaceae 或 Grass Family) 子实的外壳上长出的针状物。野生稻一般具有长芒，而栽培稻品种为了便于收获和加工，一般都要求无芒 (awnless)。

Aleurone layer · 糊粉层

位于谷类小穗 (spikelet) 中胚乳 (endosperm) 的外层。这层细胞内含由蛋白质和油脂形成的糊粉粒 (aleurone grains)。

Adventitious root · 不定根

生长在非正常的地方 (arising in abnormal position)，如叶子或茎等处，而非来自根部的根。

Abscission layer · 离层

使植物器官，如叶、花和果实等脱离母株的组织。产生离层和植物体内的离层酸 (abscisic acids，亦称脱落酸) 含量有关。

Apical dominance · 顶端优势

植物主茎 (main stem) 在生长中，不断将生长素 (auxin) 向下输送，大量积聚于侧芽 (axillary buds) 部分，抑制侧芽生长。摘除顶芽 (apical buds) 后，侧芽部位生长素的浓度降低，顶端优势造成的抑制作用解除了，侧芽于是发育成枝。

Auxin · 植物生长素 (亦称生长激素)

调节细胞伸长及其它生长过程的一种植物生长物质。在高等植物中，生长素大都集中在生长旺盛的胚芽梢、芽尖和根尖的分生组织 (meristem)。生长素只能从植物体上端向下端传导。

Auricle · 叶耳

位于叶片基部的一个细小突起物，呈耳状，常见于禾本科植物的叶子。

Axillary buds · 腋芽

位于叶腋(axil)中的一个芽。当顶端优势在收割活动中被解除后，能长成新枝。

Abiotic Factors · 非生物因素

亦称无机因素，在生态环境中，包括光照、温度、空气、水分、土壤、地势等因素。

Biomass · 生物质量

植物碳水化合物应用于呼吸作用之余，储存起来或合成其他生长化合物的物质。

Biotic factors · 生物因素

亦称有机因素，包括物种内(intraspecific)与物种间(interspecific)的关系，如互助、竞争、排挤、捕食、共生、寄生、腐生和附生等关系。

Biological Oxygen Demand (BOD) · 生物氧需求量

微生物如细菌与菌类在分解有机体时所需的氧量。低BOD值显示水中溶解的氧量高，水源未受污染。高BOD值显示水源污染程度高，微生物大量滋生繁衍，耗用水中氧以分解水中污染物，造成水中氧含量下降，使水生生物不易生存。

Culm · 秆

禾本科植物的茎，中空有节（nodes）。

Cytoplasm · 细胞质

细胞（cell）内除了细胞核（nucleus）、质体（plastids）和其他细胞器（organelles）以外的所有原生质（protoplasm）。

Cuticle · 角质层

表皮细胞（epidermal cells）外胞壁上一层腊质状的脂肪物质，使胞壁几乎不透水。

Cotyledon · 子叶

种子内贮藏养料的原始体，能于刚萌芽时暂代真叶进行光合作用。胚具有一片子叶的称为单子叶植物（monocot），如水稻和玉米等。胚具有两片子叶的称为双子叶植物（dicot），如花生和菜豆等。

Chloroplast · 叶绿体

含有叶绿素的质体（plastid）。叶绿素在质体内聚集成小的颗粒称为基粒（grana），基粒周围的物质叫做基质（stroma）。

Chlorophyll · 叶绿素

叶绿体中的绿色色素，由蓝绿色叶绿素甲（chlorophyll a）和黄绿色的叶绿素乙（chlorophyll 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。叶绿素在光合作用中对吸收光能有重要作用。

Corolla · 花冠

花被 (perianth) 的内圈，由分离或合并的花瓣 (petals) 组成。

Chlorosis · 黄化

植物组织因叶绿素无法形成而出现的褪绿现象，亦称黄萎病或缺绿病。

Caryopsis · 颖果

禾本科 (Poaceae) 植物的果实，果皮 (pericarp) 与种皮 (testa) 愈合在一起，是单种子的果实。

Cambium · 形成层

属于分生组织 (meristem)，可分为维管形成层 (vascular cambium) 与木栓形成层 (cork cambium)。

Cation-exchange · 阳离子交换

亦称阳离子代换。土壤中离子态 (ionic form) 是植物吸收的最有效形态，代换 (exchange) 和吸附作用 (adsorption)，是土壤保蓄和供给离子态养分给植物吸收的重要形式。

Cytokinin · 细胞分裂素

植物生长激素中的一类，对细胞分裂 (cell division)、

器官发生和延缓衰老均起重要作用。

Chromosome · 染色体

由DNA与组织蛋白构成，位于细胞核内，贮存生物的遗传讯息。

Dormancy · 休眠

植物的种子或芽在正常情况下处于静止状态而不立即萌发。种子休眠可能由于种皮过厚或过硬，或由于种子内部产生抑制萌发的物质，必须休眠一定时间才能够发芽。

Diploid · 二倍体

指每个细胞中包含两套染色体的个体，二倍体以 $2n$ 表示，如水稻 $2n=24$ 。

Differentiation · 分化

一个细胞、组织、器官或整株植物从一种分生组织(meristem)发育为成熟状态的过程。分化在生理与形态上均发生变异。

Ecology · 生态学

研究生物与环境关系的科学，牵涉到自然界中的生命与非生命因素。

Ecosystem · 生态系统

不同物种(species)的群体(population)共同居住于



一个区域中，进行交互作用，组合成群落（community）。群落与地理环境互相影响，使物质能量达到稳定状况，就形成生态系统。

Embryo · 胚

卵细胞受精（fertilization）后形成的雏形生命体，在种子植物中包藏于种子内。

Endosperm · 胚乳

种子内的营养组织，贮存大量淀粉，为胚和幼苗在发育过程中提供养分。

Evapotranspiration · 蒸发、蒸腾作用

蒸发作用（evaporation）是指水分从水面（free water surface）消失，而蒸腾作用（transpiration）是指水分通过植物体消失，两者合称蒸发、蒸腾作用。

Enzyme · 酶

亦称酵素，参与有机体中许多反应的一种有机催化剂（catalyst），由蛋白质所组成。

Epidermis · 表皮

初生植物体最外面的一层细胞。

Ethylene · 乙烯

以气体形式存在植物内的一种激素，主要功能是催熟果实，改变果实颜色、硬度，使果实变甜。

Gamete · 配子

单倍体 (haploid) 的性细胞，在有性生殖 (sexual reproduction) 过程中，雄配子 (male gamete) 与雌配子 (female gamete) 融合，能产生一个合子 (zygote)。

Gene · 基因

细胞核内染色体中的基本遗传单位，具有特定核苷酸 (nucleotide) 顺序的去氧核糖核酸 (DNA) 区段，为储存特定遗传信息的功能单位 (functional unit)。

genome · 基因组

在单倍体 (haploid) 染色体上所携带的所有遗传讯息。

Genetics · 遗传学

研究生物体遗传 (由上代传给下代) 和变异规律的科学。

Genus · 属

生物学中把同一科 (Family) 的生物群按照彼此相似的程度再分为不同的群叫做属，如禾本科 (Poaceae) 中有稻属 (Oryza) 等。属以下为种 (Species)。

Genotype · 基因型

控制生物性状的基因组合，不同的基因型可以表现为不同的表现型 (phenotype)。

Glume · 颖片

禾本科(Poaceae)植物小穗(spikelet)外面的一对苞片。

Guttation · 吐水作用

植物通过排水器(hydathode , 亦称水孔)分泌出水滴, 多数出现于叶端或边缘。

Gibberellin · 赤霉素

能促进茎部及叶部延长的激素。此外, 它也能促进种子萌发, 提早开花及诱发单性结果(parthenocarpy)。

Filament · 花丝

雄蕊中连接花药(anther)下部的丝状柄。

Fertilization · 受精作用

雌雄配子融合的过程, 为有性生殖(sexual reproduction)的一个重要特征。

Food chain · 食物链

指一个生态系统中食物能量的传递关系。每个食物链都包括几个环节, 每个环节都可作为一个营养级。能量沿着食物链从一个营养级流动到另一个营养级的过程中, 热量不断放散, 因此能量不断减少。

Food web · 食物网

在一个生态系统中, 由于绝大多数动物的食物是多样化的, 因此, 各种食物链彼此联系, 交错成复杂的食物

网。

Haploid · 单倍体

指具有一套染色体的体细胞 (somatic cell)，或指配子体世代 (gametophyte) 的个体细胞。单倍体以 n 表示，如水稻 $n = 12$ 。

Habitat · 生境

指一个生物体 (organism) 或一群生物体生活的地方，例如水田、池塘、河流、洞穴、山林和海洋等。

Hull · 外壳

亦称谷壳，指禾本科植物小穗的颖片 (glumes)。

Hybrid · 杂种

由不同基因型 (genotype) 亲代 (parents) 交配所产生的子代 (descendants)。

Hybrid vigour · 杂交优势

亦称 heterosis，指子代从不同基因型的亲代获得更佳的性状组合，更适于特定的生存环境。

Hybrid rice · 杂交水稻

水稻是雌雄同花的自交作物 (self-fertilized crop)，要利用其杂交优势，首先要获得大量杂交种子。水稻杂交优势利用的主要途径，是通过三系，即以雄性不育系 (cytoplasmic male sterile line) 作母本，配合雄性不育恢

复系 (fertility restorer line) 和雄性不育保持系 (maintainer line), 繁殖强优势的杂交种子来实现。

Hilum · 种脐

当种子成熟时, 从珠柄 (funicle) 或胎座 (placenta) 处脱落, 在种子上遗留下来的痕迹。

Hydathode · 排水器

一种排水的结构, 能由叶尖分泌出液态的水, 这一排水过程称为吐水 (guttation)。排水器常见于禾本科植物幼苗与蕃茄。

Inflorescence · 花序

花在花轴 (floral axis) 上排列的方式。

Integument · 珠被

胚珠 (ovule) 的外部覆盖着珠心 (nucellus) 的部分。

Intercellular space · 胞间隙

组织内细胞之间的空隙。

In vitro · 试管内

亦指体外。

In Vivo · 体内

Internode · 节间

茎上两个节之间的部分。

Ion · 离子

带电的原子 (electrically charged atom or group of atoms)。

Karyogamy · 核融合

指两个核的融合。

Karyokinesis · 核分裂

细胞核的分裂过程。

Lag-phase · 延缓期

亦称滞后期，指水稻在分蘖 高峰期至幼穗分化期 (panicle differentiation) 之间生长缓慢的阶段。

Ligule · 叶舌

指禾本科 (Poaceae) 植物叶鞘 (sheath) 顶端一个膜质的附属物 (membraneous appendage)。

Lenticel · 皮孔

常见于茎上，呈透镜形，由排列疏松的细胞组成。通过皮孔可以进行气体交换。

Lignin · 木质

亦称木素，为一类由苯基丙烷衍生物单位构成的高分子聚合物 (a polymer of phenyl propane units)，常与纤维素 (cellulose) 结合在一起，木材 (wood) 中 25-30% 由木质形成。

Lemma · 外稃

特指禾本科 (Poaceae) 包着小花 (florete) 的外苞片。

Lodicule · 浆片

在禾本科 (Poaceae) 植物的颖花内一对膜状小鳞片。

Meristem · 分生组织

通过细胞分裂经常产生新细胞的一种组织。各种细胞均源自分生组织，例如嫩苗的顶端分生组织 (apical meristem)，通过分化最终形成叶与茎。

Meiosis · 减数分裂

亦称成熟分裂，是生物体的生殖细胞成熟时特有的分裂，经过分裂后的细胞，染色体的数目从原来的二倍体 ($2n$) 减少一半成为单倍体 (n)。

Metabolism · 新陈代谢

是生命的基本特征，由同化作用和异化作用组成，能使机体不断自我更新，生命活动正常进行。

Mitosis · 有丝分裂

是多细胞生物 (multicellular organism) 细胞分裂 (cell division) 的主要方式。经过分裂形成的两个新细胞，染色体数目保持与原来细胞一样。

Mitochondria · 线粒体

一种细胞器，呈杆状或球状，内含数种氧化酶，与细

胞呼吸作用有密切关系。

Mycelium · 菌丝体

由菌丝 (hyphae) 聚集形成的真菌 (fungus) 组织。

Mycorrhiza · 菌根

土壤中真菌和许多高等植物根的共生结合 (symbiotic association)，称为菌根 (fungus root)。菌丝体包住寄主的根，菌丝并不伸进根细胞里去，称为外生菌根 (ectotrophic)，如在松树等。菌丝生活于寄主根的皮肤细胞 (cortex cells of roots)，称为内生菌丝 (endotrophic)，如在胡姬等。菌根对寄主的幼苗生长有很大帮助。

Nitrification · 硝化作用

土壤细胞将含氮有机物 (organic compounds of nitrogen) 转化为可由植物利用的硝酸 (nitrates)，称为硝化作用。

Necrosis · 坏死

植物组织因疾病感染、环境污染或霜雪而出现的枯斑与凋残。

Nectary · 蜜腺

能分泌一种糖液的腺结构。生长于花部的称为花蜜腺，生长于茎、叶、托叶、花梗等器官上的称为花外蜜腺。

Node · 节

茎上着生叶子的部分。

Nucellus · 珠心

指胚珠 (ovule) 的中心部分。

Nucleus · 细胞核

位于真核生物 (eukaryote) 细胞中央, 内含染色体的胞器。

Nucleolus · 核仁

存在细胞核中的球状体。核心含有大量的 RNA 和蛋白质, 以及一定分量的 DNA, 在控制蛋白质的合成中起作用。

Nut · 坚果

一种不开裂 (Non-dehiscent), 具单种子的坚硬骨质干果。

Ovary · 子房

包含胚珠的雌蕊部分。

Ovule · 胚珠

由种子植物的大孢子囊 (macrosporangium) 和外面的苞被 (珠被或 integument) 组成, 受精后发育成种子。

Oxidase · 氧化酶

催化氧化作用，能从基质（substrate）中去除氢离子，并促成与氧分子（molecular oxygen）结合的酵素。

Osmosis · 渗透作用

渗透是扩散的特殊形式，即溶剂（solvent）分子通过半透膜的扩散作用。根从土壤吸收水分，主要是渗透现象。

pH · 酸硷值

水溶液的酸度计算。水的pH是7，pH值小于7为酸性，大于7为硷性。

Phenotype · 表现型

受基因控制的性状，可由肉眼观察。例如高、矮、红、白、大、小等。

Palea · 内稃

特指禾本科（Poaceae）植物包住小花的内苞片。

Panicle · 圆锥花序

一种分枝的总状花序（inflorescence），经常分枝散排列，如水稻的花序。

Phloem · 韧皮部

维管束（vascular bundle）中担负运输同化产物（assimilated products）的组织，组成韧皮部的主要

分子有筛管 (sieve tube) 和纤维。

Primordium · 原基

指有组织的细胞群，处于分化的初期阶段，如叶原基、花原基等。

Pedice! · 花梗

每朵花着生的柄 (stalk of an individual flower of an inflorescence)

Peduncle · 花柄

花序的柄或主轴 (stalk of an inflorescence)。

Protoplasm · 原生质

细胞中具生命的物质基础，涵盖细胞质 (cytoplasm) 与胞核 (nucleus)。

Petal · 花瓣

构成花冠 (corolla) 的成员。

Pollen · 花粉

种子植物中的小孢子，含有细胞的雄配子体 (male gametophyte)。

Population · 群体

亦称种群或居群，指相同物种的生物，居于一个特定的区域或环境中的群众。

Photoperiodism · 光周期现象

日照时间长短对植物发育与开花造成影响的现象。例如短日照作物必须在暗期较长时才能够开花结实。

Quadrat frame · 样方

在田里用来进行抽样 (sampling) 研究的框架。

Receptacle · 花托

在被子植物 (angiosperm) 中, 花梗 (pedicel) 膨大的末端, 花部着生的部分。

Rhizome · 根茎

根状茎或地下茎, 亦称匍匐茎。

Ribosome · 核糖体

细胞质中的小胞器, 是蛋白质进行合成的所在。

RNA · 核糖核酸

由一条核苷酸 (nucleotide) 单链构成的分子。

Stoma · 气孔

复数是 stomata, 指在表皮 (epidermis) 上两个保卫细胞 (guard cell) 及其中间的开孔。

Sepal · 萼片

组成花萼 (calyx) 的裂片。

Sieve tube · 筛管

由一系列筛管节通过筛板 (sieve plate) 末端彼此相互连接所形成的长管，是韧皮部 (phloem) 的重要组成单位。

Spikelet · 小穗

在禾本植物 (Poaceae) 中，由一对颖片 (glume) 包住一朵 (如水稻) 或多朵 (如小麦) 小花 (floret) 的次级穗。

Testa · 种皮

指种子的外包被 (seed coat)，由珠被发育而成。

Tiller · 分蘖

由茎的基部产生的一个茎干。

Trichome · 毛状体

一种表皮 (epidermis) 附属物，具各种形状，大小和功能。

Tissue · 组织

由相同细胞或不同类型细胞组成，执行同一种生物功能，在发育上具同一起源的结构，如保护组织和机械组织等。

Tuber · 块茎

指一种短而肥厚的地下茎，如马铃薯等。

Urea · 尿素

从氨(NH_3)与二氧化碳(CO_2)衍生而来的化合物 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 。

Vascular bundle · 维管束

植物体内的运输组织，包含木质部(xylem)和韧皮部(phloem)。

Viviparous · 株上萌发

种子着生于母树上时即已萌发，如红树(*Rhizophora apiculata*)。

Virus · 病毒

比细菌更小的微生物，没有细胞的结构。病毒颗粒(virus particles)由核酸组成，然而只含一种类型的核酸而已。带DNA的称为DNA病毒，含有RNA的称为RNA病毒。

Xylem · 木质部

维管植物中负责运输水分和无机盐的组织，具有支持作用。

Zygote · 合子

雌雄配子(gametes)融合，形成合子。

中文主要参考文献

1. 中国农业科学院主编：《中国稻作学》，1986年，北京农业出版社出版，746页。
2. 汪呈因编著：《稻作学与米》，1974年，徐氏基金出版，台北市、台湾，685页。
3. 闵绍楷、申宗坦和熊振民主编：《水稻育种学》，1996年，北京中国农业出版社出版，506页。
4. 蔡祝南、吴蔚文和高君川编著：《水稻病虫害防治》，1997年，北京金盾出版社出版，167页。
5. 吴丁主编：《水稻应用生理》，1983年，河南科学技术出版社出版，243页。
6. 江苏省农业科学研究所、江苏省农学院与江苏省农药研究所编：《水稻病虫害》，1975年，北京农业出版社出版，257页。
7. 上海师范大学生物系和上海市农业学校编：《水稻栽培生理》，1978年，上海科技出版社出版，423页。
8. 任昌福与刘保国编著：《再生稻培植技术》，1993年，北京农业出版社出版。
9. 刘克锋、韩劲和刘建斌编著：《土壤肥料学》，2001年，北京气象出版社出版，166页。
10. 刘永菁与邱卫文编：《蔬菜施肥与用药技术》，1998年，北京化学工业出版社出版，179页。
11. 费有春和徐映明合编：《农药问答》，1997年，北京化学工业出版社出版，744页。

12. 李扬汉编著：《田园杂草和草害》，1984年，江苏科学技术出版社出版，349页。

外文主要参考文献

1. De Datta, S.K., 1981. *Principles and practices of rice cultivation*. International Rice Research Institute (IRRI), Los Banos, Philippines, 618P.
2. Peng, S; Ingram, K.T; Neue, H-M; Ziska, L. H. (Eds), 1995. *Climate change and rice*. IRRI and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 374P.
3. Yoshida, S., 1981. *Fundamentals of rice crop science*. IRRI, Los Banos, Philippines, 269P.
4. Tsunoda, S and Takahashi, N., 1984. *Biology of rice*. Japan Scientific Societies Press, Tokyo, 380P.
5. International Rice Research Institute (IRRI), 1988. *Rice Ratooning*. Los Banos, Philippines, 279P.
6. Ladha, J. K and Garrity, D. P(eds), 1994. *Green manure production systems for Asian ricelands*. IRRI, Los Banos, Philippines, 195P.
7. International Rice Research Institute (IRRI), 1988. *Green manure in rice farming*. Los Barnos, Philippines, 379P.
8. Ishizuka, Y., 1971. *Nutrient deficiencies of crops*. Food and Fertilizer Technology Centre, ASPAC, Taipei, Taiwan, 112P.

9. Dobermann, A and Fairhurst, T., 2000. *Rice nutrient disorders and nutrient management*. Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 191P.
10. van Vreden, G and Latif. A. A., 1986. *Pests of rice and their natural enemies in Peninsular Malaysia*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen, Netherlands, 230P.
11. Chin, K. M and Supaad, M. A., 1986. *Diseases of rice in Malaysia*. Malaysia Agricultural Research and Development Institute, Malaysia, 89P.
12. University of California, 1993. *Integrated pest management in rice*. United States of America, 100P.
13. Ho Nai Kin, 1991. *Comparative ecological studies of weed flora in irrigated rice fields in the Muda Area, Malaysia*. Muda Agricultural Development Authority(MADA), Alor Star, Malaysia, 97P.
14. Cassman, K. G., 1994. *Breaking the yield barrier*. IRRI, Los Banos, Philippines, 141P.

- | | | | |
|----|----------|--------|----------|
| 01 | 马来半岛山岳经典 | 朱海波 | RM 20.00 |
| 02 | 陈兰芝的自然对话 | 陈兰芝 | RM 18.00 |
| 03 | 高玉梅的绿色笔记 | 高玉梅 | RM 18.00 |
| 04 | 含泪为大地抚伤 | 田思、何乃健 | RM 16.00 |
| 05 | 转基因·转乾坤 | 何乃健 | RM 16.00 |
| 06 | 水稻与农业生态 | 何乃健 | RM 24.00 |





- 了解水稻的生理，并因地制宜地调整各项栽培技术的管理，肯定能够促进稻米的稳步增长。
- 尊重大地，惜福感恩，“死土”也能化为“活土”。土壤一旦失去了生产能力，人类将如何延续生机？
- 善加利用适宜的气象条件，配合科学施肥、灌溉和病虫害的综合防治，农民将能趋利避害，欢庆丰收。

ISBN 983309801-0



9 789833 098019

RM 24