

热带水稻土特性

F. N. 彭拉姆帕魯瑪
庄卫民 译 陳举鳴 校

黎明大學

内 容 简 介

本书译自国际水稻研究所著名水稻土化学家*F.N. Ponnampерuma* 为该所研究生编著的教材。全书共分十部分，详细介绍了有关水稻土的物理、化学和电化学特性，以及各种大量营养元素和微量元素对水稻生长发育的影响。

该书可供农业院校师生，研究生和农艺师，以及从事土壤肥料，水稻育种，栽培等科研工作者学习，参考。

Properties of Tropical Rice Soils

F. N. Ponnampерuma

Principal Soil Chemist

The International Rice Research Institute

热 带 水 稻 土 的 特 性

庄卫民 译 陈举鸣 校

代 译 序

水稻土是世界上分布最广，面积最大的土类，对它的研究不仅关系土壤科学的发展，而且对农业生产尤有重要意义。

我国是世界上最早栽培水稻的国家之一，早在三十年代初期就把水稻土作为一个独立的土类进行深入研究。在水稻土的研究领域上，我国老一辈的土壤学家是作出贡献的。

然而，在国际上对于水稻土的研究，近十多年来也发表了许多极其丰富的报告和专著，他山之石，可以攻玉。国际水稻研究所的土壤化学研究室主任F. N. 彭拉姆帕鲁玛博士，多年来对于水稻土的形成和特性进行了系列研究，“热带水稻土特性”一书，就是他的代表作之一。该书从水稻的栽培制度、谈到水稻土的组成，发生过程及其理化性状的变化，特别是这些特性与水稻生长的关系，更有精辟的论述。他所突出的微量元素对于水稻土肥力和水稻生长的影响，可以看出作者对热带水稻土研究的独特见解。

鉴于本书在水稻土的形成理论和实践上的价值，极需介绍与国内读者参阅，特由黎时大学庄卫民副教授的精心翻译，和福建农学院陈举鸣副教授的详为校阅，给本书的翻译质量提供了保证。我们相信这本译著的出版，将为我国当前的水稻土研究工作，起了推动作用。

林 景 亮

一九八七年三月十六日

于福建农学院

目 录

导论.....	(1)
一、水稻的栽培制度.....	(2)
二、水田水稻土.....	(5)
三、淹育中土壤物理性的变化与水稻生长.....	(10)
四、粘闭过程及其对水稻生长的影响.....	(13)
五、水田土壤中的水分运动.....	(15)
六、渍水土壤中的化学变化与水稻生长.....	(17)
七、渍水土壤中的电化学变化与水稻生长.....	(30)
八、水田水稻土的肥力：大量营养元素.....	(44)
九、水田水稻土的肥力：微量营养元素.....	(56)
十、有毒性的水稻田.....	(65)

导 论

大米是全世界40%以上人口的主粮，还有10%的人口以其作为粮食中的重要组成部分。

全世界的水稻种植面积约在一亿四千万公顷1979年的生产量已超过3.8亿吨，而同年的小麦种植面积为二亿四千万公顷，总产量为4.25亿吨。平均小麦单产为1.8吨/公顷，而水稻则为2.6吨/公顷。亚洲的水稻占全世界总量的90%以上，其生产的好坏对本地区的国计民生关系十分重大，而目前在拉丁美洲和西部非洲对水稻种植已日益显示其重要性。

适宜水稻生长的气候，土壤和水文条件较其他作物为广，它可以从赤道到北纬53度以北，从低海拔的印度喀拉帮到喜马拉雅山西部2600米高海拔地区都能种植，在克什米尔，印度，种籽萌发温度可低于4℃，而在巴基斯坦，扬花阶段的生长温度可高达42℃；它也可以生长在有灌溉的干旱地区和年降雨量在500毫米以上的地带。在拉丁美洲和非洲，它还可以像旱作小麦一样生长，而在孟加拉国又可忍耐5米深的水层。

适宜水稻生长的土壤也像气候一样是多种多样的，土壤质地可以从砂质土到粘质土，PH值从3到10，有机质含量从小于1%到6.5%以上，养分状况可从极低到高，地形可从坡地，平地到洼地。水稻广泛发育的基因型变异性使人们有可能选择在各种气候和土壤特性的环境中生长的品种。而在一定的环境中选择的水稻栽培制度也以当地的土壤和气候因素为先决条件。

由于水田水稻土壤的物理、化学条件与旱地土壤不同，因而，为管好水田土壤，必须要具有在淹水情况下特殊的物理、化学和电化学的知识。

一 水稻的栽培制度

不同地区的水稻栽培制度的形成和发展是和该地的物理的,生物学的,和社会经济条件相适应的。水稻耕作制可分为旱地稻和水田水稻两种主要的形式。

(一) 旱地稻

旱地水稻或旱稻的生长与旱作小麦或大麦相类似,经过犁翻耕地后,即可将种子撒播或点播,並依靠降雨和地下水的供给使种子生长发育,如果风调雨顺或地下水能满足要求,每公顷旱地水稻也可能高达7吨。但由于干旱损害和其它问题,旱地水稻产量一般仅4~5吨/公顷。全世界的水稻面积约有10%为旱稻,而在热带美洲约有75%为旱稻。

旱稻一般栽培在坡地、平地或高低起伏的地带,生长季节期间的平均月降水量最少为150mm,一般平均降雨量在1500mm以上。在较高降雨量的地区沙土上由于田间持水量低和土壤肥力低下而较少栽培旱稻。而粘土由于土壤有机质和结构性好较适宜旱稻生长,因此,淋溶土和旱成土是较适宜旱稻生长,而氧化土则不适宜。碱性的、石灰性的、盐渍性和酸性硫酸盐土也不宜种植旱稻。而最好是在地形系列中较低洼的地形单元上的弱酸性土壤中栽培。

旱稻生长中的主要限制因子是干旱、杂草、枯萎症、土壤侵蚀和营养问题上包括:在弱酸性、中性和碱性土壤中的缺铁,以及强酸性土壤中铝、锰的毒害和氮,磷、硅的有效性低等。

旱稻的产量主要依赖于水分的供应和管理。世界上的旱稻大多是在未施肥的游耕制或小农制的地区种植,一般产量仅0.5~1.5吨/公顷。但据De Datta和Ross(1975)曾调查有5吨/公顷的产量,这是由于采取

了机械播种、旱栽、点播、密植和化学除草等综合措施的结果。然而,这些先进措施在巴西的大面积旱稻中虽有采用,却由于雨量不协调和氧化土的田间持水量低而导致低产。

近代的发展已采用选育适宜于旱地土壤条件的品种以提高产量。例如国际水稻研究所(IRRI 1981)根据1980年在5个地区的10次试验中已选育出可以适应干旱、缺铁和耐铝、锰毒害的水稻品种IR43和IR5931—110—1等两种。

(二) 水田水稻

水稻是渍水土壤上仅有的主要粮食作物。土地必须修筑成梯田或水平以保持水分。在大部份的水稻生长季节里,土壤需要有雨水或灌溉水以保持干、湿淹灌,而到收获前的短期内才以排干。全世界有90%的稻子是种在水田中,而在热带美洲的水稻约占其中的25%。

世界上的大面积水稻是栽培在泛滥地区,由于降雨和地形的关系,季节性的淹没是难以避免的。这些地区主要为盆地、大河流的三角洲,和毗连亚洲季风带的大平原,其次为内陆河谷地区和洼地。由于大部分的水田是位于这些低洼地带,因而,难免受到雨季或河水泛滥的淹没。並且由于地形低平和高地下水位而使排水发生困难,在这种条件下,也只有水稻能在湿润的季节生长。当然,在干旱、半干旱和湿润地区如有灌溉条件的也是可以栽培水稻的,这种水稻的耕作制是可适应在不同的气候、水文和社会经济条件的地区。

1. 灌溉的湿耕水稻栽培制

这种水稻栽培制是用灌溉水或雨水淹灌水田土壤以人工或机械犁翻,下基肥后再耙

田使土肥混合，已催芽的稻种可以撒播或成行点播，但最普遍的栽培方法是经秧畦培育三周之后移栽，并在移栽后三周用人工或圆盘除草器中耕除草。或在移栽4~5天后用2,4-D或MCPA除草剂进行化学除草，幼穗分化期再追施氮肥，最后用人工刈稻，一年二熟，这种栽培制生产潜力较高，但在亚洲种植的水稻面积中仅有25%是灌溉的。

2. 灌溉的直播水稻栽培制

这种水稻栽培制的大田面积较大，一般可以数公顷，并在干燥状况下用大型拖拉机进行犁耕，然后，将拌好肥料的稻种直播和轻灌，2~3周后再淹灌。在有泛滥水的地方，这种栽培制是在土地淹水的时候把催芽种籽用飞机播种。依靠波浪把稻种送入已用条播机挖好畦沟中定植，肥料，除草剂和杀虫剂也是用飞机撒施，用康拜因收割。在美国、澳大利亚，和一些拉丁美洲地区多采用这种耕作制。

3. 雨水灌溉的水田栽培

这种栽培制除水分来源完全依靠降雨外，其余都与灌溉水耕栽培相似，由于缺乏水源的控制，水稻栽培常因洪水和干旱的影响而推迟，因为这些障碍，使肥料和农药的施用都受到限制，常年仅能一熟，在南亚和东南亚大约有50%的水田是属于这种类型。IR36是适宜在这种地区种植，但不宜深水栽培。

4. 浮稻栽培(Floating rice Culture)

在南亚和东南亚以及西非的一些大流域的泛滥平原，当雨季时，水田中的水深可达5米，因而，在这一带采用浮稻栽培。当雨季到来前，土地落干后并用干谷播种，随天然降雨量的增加，土壤水逐渐饱和起来，最后被淹没，并随着淹没水的提高，水稻也以每天20cm以上的长速以保持出露在水面上，稻秆可达5米长，待洪水退后即可收获，单产量为0.5~2吨/公顷，这种栽培方式约占全世界水稻的8%。

结 束 语

水稻是世界的主要粮食作物，与其它作物比较，它可以生长在多种多样的土壤、气候、和水文条件下，水稻栽培制也依不同的环境条件而有变化。

主要的水稻栽培制有旱稻（旱地）和水稻（水田）两种，旱稻的栽培和其它旱作物相同，而主要水源为天然降雨。在水田栽培中，土地可干可湿，但在水稻生长的大部份季节中保持淹灌。水田栽培的主要类型包括有：灌溉的湿耕和移栽法；灌溉的直播法；无灌溉的，依靠天然降雨的移栽法和浮稻栽培等四种类型。

水稻的生产水平在旱稻中可以从小农制的不到1吨/公顷的产量到有灌溉和直播的10吨/公顷。

参 考 文 献

- De Datta, S.K. 1975. *Upland rice around the World*. Int. Rice Res. Inst. Major Research in Upland Rice. Los Banos, Philippines.
- De Datta, S.K. 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. John Wiley and Sons, New York. 618 P.
- De Datta, S.K. and H.M. Beachell. 1972. Varietal response to some Factors affecting production of upland rice. Pages 685—700 in Int. Rice Res. Inst. Rice Breeding. Los Banos, Philippines.
- International Rice Research Institute. 1981. *Research Highlights for 1980*. Los Banos, Philippines
- Kawaguchi, K. and K. Kyuma. 1977. *Paddy Soils in Tropical Asia*. Univ. Hawaii Press. Honolulu.
- Kawano, K., P.A. Sanchez, M.A. Nurena, and J.R. velez. 1972. Upland rice in the the Peruvian Jungle. Pages 637—643 in Int. Rice Res. Inst. Rice Breeding. Los Banos, Philippines.
- Kyuma, K. and K. Kawaguchi, 1966. Major soils of Southeast Asia and the classification of soils under rice cultivation (Paddy Soils) Southeast Asian Studies 4: 100—122.
- Le Buauec, B. 1975. Lariziculture pluviale en-terrain draine. Situation problemes et perspectives. Agric. Trop. 30 : 358—381.
- Moormann, F.R. and N. van Breemen. 1978. Rice, Soil, Water, Land. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
- Ponnamperuma, F.N. 1975. Growth—limiting factors of aerobic soils. Pages 40—43 in Int. Rice Res. Inst. Major Research in Upland Rice. Los Banos, Philippines.

二 水田水稻土

(一)水田水稻土的矿物质组成

水田水稻土的质地取决于它们的起源土壤。大面积泛滥平原的沉积物多为粘质的，而从基性岩和火山灰发育的土壤也多是粘质的，发育在分选性差的或直接从花岗岩残积物冲积来的土壤多为粗粒质的。*Kawaguch*，和*Kyuma* (1977) 曾研究了南亚和东南亚水田的50%表层含有25~50%粘粒，而大约有35%是属于较细的质地。

质地是决定水田宜耕性的重要因素。砂土的生产力都比中度质地的土壤低，并且在水分和养分方面也以后者为高，但如果在砂土表层的下部有不透水的亚表层出现，或者有较高的地下水位或内渗水流则这种情况都可得到缓和。

(二)水田水稻土的化学组成

1. 化学特性

水稻土的化学组成依其内部的变化有着较宽的界限，表1所提供的一些化学特性是采自热带亚洲的410个水稻土的土样。

土壤表层的化学特性和矿物学特性决定了土壤养分的供肥容量和水稻生长发育过程中养分的供应量和养分平衡。同样，当淹水时，其物理、化学和电化学特性也受到一定程度的改变。水田水稻土壤的生产性大多取决于表层20厘米土壤的化学性状。

表2为肥沃的水田水稻土的化学特性，在这种土壤中，用良好的栽培措施，典型的抗病虫害品种，在不同肥料的情况下，每公顷也能收到5吨的产量。这是因为土壤在淹水下的良好化学效应，只有在种植水稻时才有可能；即使不能供应旱地作物的却可满足水稻的营养要求。

2. 粘土矿物

在南亚和东南亚的水稻土中已鉴定含有高岭石、蒙脱石，和伊利石矿物成分，而在菲律宾也经鉴定有如下几种矿物类型：高岭石、埃洛石、水化云母、蒙脱石、贝得石、蛭石、绿泥石、和水铝英石以及其它无定型矿物。

在缺磷的土壤中是以高岭石和埃洛石占优势，而缺钾的土壤则以蛭石和贝得石占优势的组合，膨胀型晶格粘粒如蒙脱石类的存在对水田水稻土的物理特性有重要影响。

3. 有机质

水稻可以生长在土壤有机质物从0.1%到4.0%的范围，热带亚洲的大部分水田水稻土的有机质量在0.5~1.5%之间。

由于水稻吸收氮素有50%以上来自土壤；并且土壤有机质也是氮、磷和硫的贮库，但也是导致土壤还原性及伴随而来的有益效应。在水旱轮作中对土壤结构的恢复更新也是有利的。但过多的有机质会固定土壤中的锌、铜，并产生有毒的嫌气分解产物，因此，在水田水稻土中通常能维持2%的有机质量为合适。如在高有机质含量的有机土中，水稻栽培将受到高有机质量所引起的若干物理和化学性质的变化所抑制。

(三)土壤发生过程

水稻生长的土壤（下面简称为水稻土）是河谷，三角洲和大平原地带的冲积土壤，它们是一些少有发生学层次分化的新成土或始成土，或者是软土中的水成属或淋溶土和老成土中的一种。但由于水稻栽培的特殊管理措施——搅糊，淹灌、排水、搁田、以及稻根的分泌物导致其发育成具有一定特性的土壤。

1. 还原淋溶和氧化淀积作用

在淹灌期间的土壤是处于还原过程並转变成暗灰色、铁、锰、硅和磷变成可溶性，並通过扩散流向根系和向下层土壤移动。当铁和锰富集于土壤表面，稻根或在亚表层形成氧化带时，它们是被氧化並与硅、磷一起被淀积下来。氧化表层和铁、锰淀积带之间的夹层是具有由水稻根冠形成的淡红棕色锈纹的分布带。收获时，土壤排干，从还原性土壤再被氧化，这时就出现大量的斑什色。

由于耕翻和犁耙的结果将使犁底层的沉积物重新分配，因此，在这一层的沉积物质並不是土壤发生学的重要标志，但铁、锰的向下移动则意味着这两个元素从表层的长期流失。铁、锰和部分磷在犁底层下面的淀积形成了铁富集层Bir並复在富锰层Bmn之上。

Kyuma和Kawaguchi (1966) 认为还原淋溶和氧化淀积作用是水稻土形成过程的特点，並予示在土类水平上用“Aquorizem”得以明确说明之。一个良好发育的水稻土剖面的层次排到为Apg/A12g/Birg/B2g (Kanno 1957)。说明如图1。

2. 铁置换淋失作用 (Ferrolysis) :

Brin—Kman (1979) 提出了另一种水田水稻土的形成过程，並称之为铁置换淋失作用。他认为，当潜育时，土壤呈还原态， Fe^{2+} 把土壤中的交换性阳离子置换，並排出还原带而被淋失。当落干时， Fe^{2+} 被氧化和沉淀下来，而残留下唯一的阳离子 H^+ ，因而，土壤是被酸化和粘粒也崩解了。

3. 土壤退化

由于利用含有钙、镁、钠等碳酸盐的低质灌溉水，而使这些盐类在土壤中累积，提高了pH值，並使水田水稻的锌和旱作物中铁的有效性都较低。如果灌溉水中的钠含量很高，还可能使土壤变碱，而较大量的硼还能中毒。对这类危险盐分和硼的限制指标在美国农业部 (USDA) 手册NO60 (1954) 中已有规定。

国际水稻研究所农场1962~1978年用低

质量的深井灌溉以后曾发生了如下的变化：

(1) PH从5.1~6.5提高到5.6~7.9

(2) 电导率从低于1增加到>4毫欧姆/厘米

(3) 硼含量提高到3mg/kg以上。

(4) 大面积缺锌

当1966~1978年水稻从旱季的最高产量9吨/公顷下降到7.4吨/公顷时，即已说明这种高产潜力所遭遇的危害，而土壤组成的变化是硼毒害性增加而锌却缺乏。

4. 犁底盘的形成

水田土壤在耕作过程中可导致10~40cm深处出现5~10cm厚的紧实层，据Kanno (1978) 认为这一层正好出现在B层上面的犁底深位置上，在干燥状况下，一般比表层具有较高的容重，但这种紧实层发生並不是由于粘粒的淀积而是一种人畜机械踩实的结果，所以Moormann和Vam Breemen称之为“踩实盘”(Frassicpan)，它比其上、下层的土壤渗透性稍差，但在排水后即可复原，细壤土质地最易引起这一层的形成，並可在连续种稻的四年内出现。

这种犁底盘或踩实盘的存在会减少水分的渗透和造成滞水，但可以用重型的拖拉机深耕破坏它，以提高渗透作用，减少水田水稻栽培的困难。

结 束 语

世界上大部分的水田水稻土是分布在亚洲的大平原，和盆地，以及大河流的三角洲，这类土壤多属新成土或始成土，排水困难。

水田水稻的质地多为中细粒到细粒质，但其化学组成成分和粘土矿物类型变化很大，淹灌和耕耙必然会改变这种土壤的化学和物理特性並导致犁底盘的形成。

水田水稻土的生产性能主要依赖于它表土层的化学性状。

表1 热带亚洲410个水田水稻土的化学特性

特 性	范 围	平均	标准差
<i>pH</i> *	3.4—9.3	6.0	1.1
有机质 (C%)	0.12—11.4	1.41	1.28
全 N (%)	0.02—0.92	0.13	0.11
<i>C/N</i>	4.8—2.6	11.2	2.7
<i>NH</i> ₄ ⁺ - <i>N</i> **	0.3—630	8.5	4.8
全 <i>P</i> (mg/kg)	4—245	37.2	29.
<i>Bray</i> —2 <i>p</i> (mg/kg)	0—55	1.7	4.7
<i>CEC</i> (me/100g)	0.6—56	18.6	12.2
交换性 <i>K</i> (me/100g)	0—2.6	0.4	0.3
有效性 <i>Si</i> ***	0.1—56	12.6	11.9

[注] * 土：水比为 1：5

 ** 在40℃嫌气培育 2 周后测定

 *** 用*pH*4.0 *NH*₄*OAC*提取

(引自*Kawaguck*, 和*Kyuma*, 1977)

表2 肥沃水田水稻土的化学特性

特 性	指 标
<i>pH</i>	5.0—6.5
饱和浸提液电导率 (<i>ECe</i>) (ms/cm)	< 2
<i>Eh</i> (淹水后) (V)	+ 0.2 ~ - 0.2
有机质 (%)	2.0 ~ 3.5
全- <i>N</i> (%)	> 0.2
全磷 (%)	> 0.02
<i>Olsen-P</i> (mg/kg)	> 10
交换性钾 (mmol/kg)	> 2 (0.2me/100g)
有效 <i>S</i> (mg/kg)	> 10
<i>CEC</i> (mmol/kg)	> 200 (20me/100g)
粘粒组分	> 50% 蒙脱石
活性 <i>Fe</i> (%)	> 0.5
活性 <i>Mn</i> (%)	> 0.05
有效性 <i>Zn</i> (mg/kg)	> 1
有效性 <i>B</i> (mg/kg)	< 5

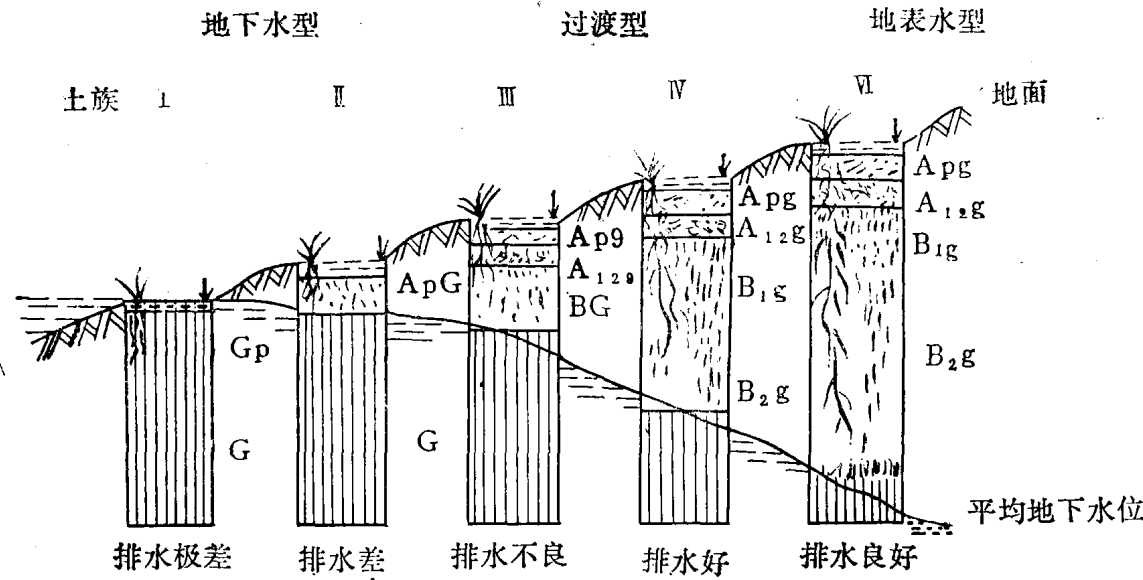


图1 五种矿质水稻土的基本土族的土链系列 (Kanno, 1957)

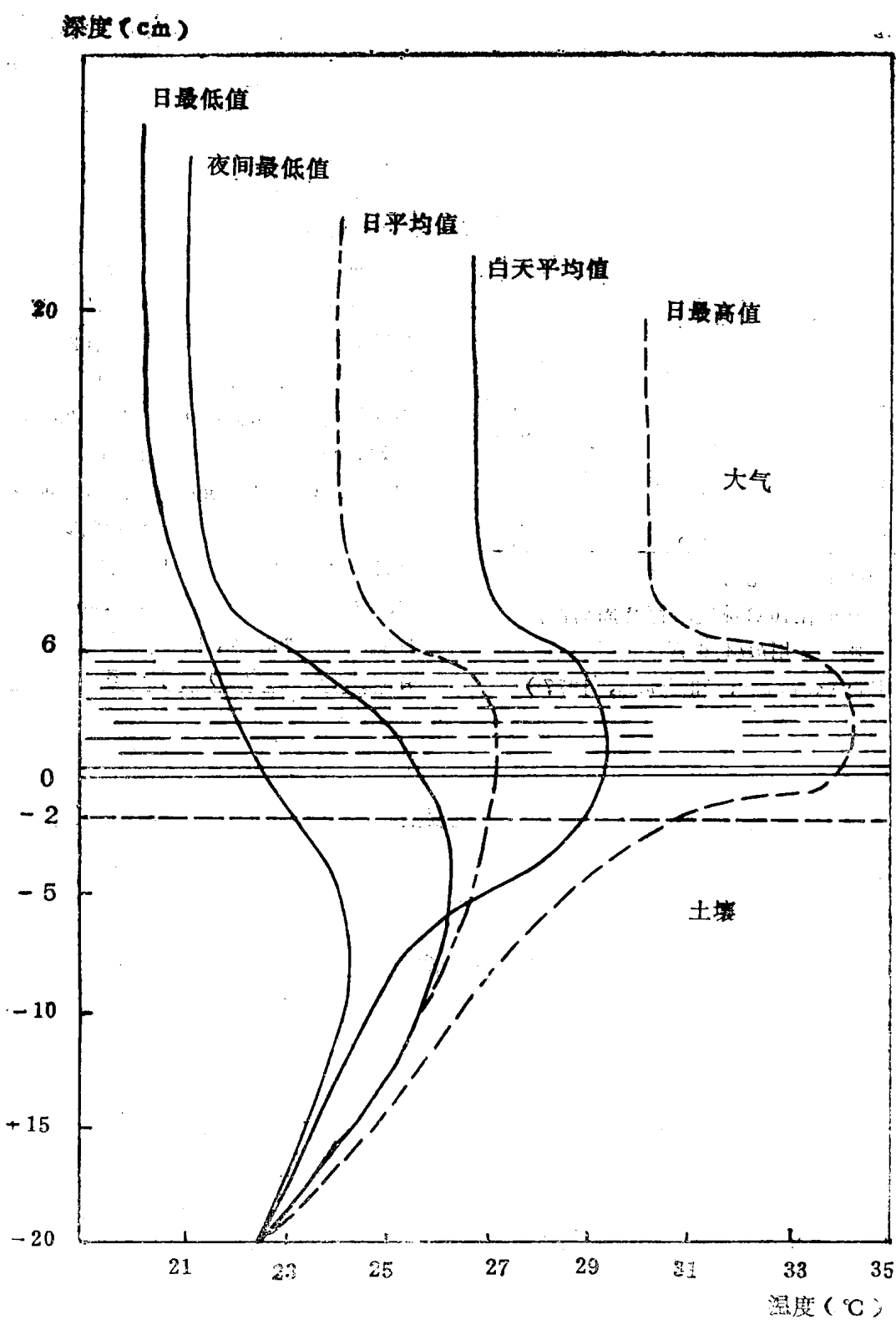


图2 淹灌水田中的温度剖面 (Afer Kondo, 1952)

参 考 文 献

- Bajwa, M. I. and F. N. Ponnampерuma, 1980. Clay mineralogies of some Philippine rice soils and their relationship to the available phosphorus and exchangeable potassium status. *Proc. 11th Annual Scientific Meeting of the Crop Sc. Soc. of the Philippines*. VISCA, Leyte, Philippines. April 27—29, 1980.
- Brinkman, R. 1979. *Ferrollysis, a soil-forming process in hydromorphic conditions*. Centre for Agriculture Publishing and Documentation, Wageningen. P. 105.
- Kanno, I. 1957. A scheme for soil classification of paddy fields in Japan with Special reference to mineral paddy soils. *Soil Plant Food* 2 : 148—157.
- Kann, I. 1978. Genesis of rice soils with special reference to profile development. pages 238—253 in *Soils and Rice. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines*.
- Kawaguchi, K. and K. Kyuma 1977. *Paddy Soils in Tropical Asia*. Univ. Hawaii press. Honolulu.
- Kyuma, K. 1978. Mineral composition of rice soils. Pages 219—235 in *Soils and Rice. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines*.
- Moormann, F. R. and van Breemen, N. 1978. *Rice : Soil, Water, Land. Int. Rice Res. Inst. , Los Banos, Philippines*.
- Ponnampерuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24 : 29—96.
- Ponnampерuma, F. N. 1978. Toxic rice soils. Pages 389—391 in *Plant Nutrition 1978 proc 8th Intern. Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems, Info. Series 134, Vol. 2, N. Z. Dept. of Scientific Industrial Research, Wellington*.
- Ponnampерuma, F. N. 1979a. Soil chemical and fertility characteristics important to land evaluation for wetland rice. *IRRI—CSEAS Workshop on Land Evaluation for Rice—Based Cropping Systems, March 12—23, 1979*.
- Ponnampерuma F. N. 1979b. Soil problems in the IRRI farm. Seminar report. IRRI, Los Banos, Philippines.
- U. S. D. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline ant ant alkali soils. Agriculture Hbk. No. 60. Washington D. C. 160 p.*

三 淹育中土壤物理性的变化与水稻生长

水田和旱地的主要差别乃在于水稻在大部分生长季节中需要保持稳定的灌溉水层。

稳定的水层可帮助控制杂草和减少水分径流，水深在10Cm以内不会影响产量，但稳定水层的蒸发将导致难溶性的碳酸盐，水溶性盐类和二氧化硅的淀积，並引起盐分的积累和碱化，出现高硼浓度而导致土壤退化，但另方面灌溉水也是钾、硫的重要来源，一般假设每季水稻消耗水深为1米和营养元素1 ppm则能提供10吨/公顷的产量。

除上述影响外，淹没土壤还有：

- (1) 强烈妨碍土壤与大气的 气体交换；
- (2) 稳定土壤温度；
- (3) 引起土壤胶体膨胀；
- (4) 破坏团聚体；
- (5) 减少渗透性。

(一) 气体交换的减速作用

1. 氧气缺乏：

当土壤被水淹没之后，氧气的供应即被切断，这时只有靠土体空隙中氧气的分子扩散作用提供，这种充气的空隙中其压力略低于10000个大气压，而当土壤水分饱和时，氧气的扩散比率将迅速减少，在几个小时内，微生物只能利用溶解于水中的氧气和捕获自土壤空隙中的氧分子。

被淹灌的土壤並不完全是缺氧的，在土壤表层与充氧的水层接触有几毫米厚的土层，氧的浓度是高的，这一薄层的存在说明淹没水层与土壤耗氧之间的平衡，当水稻成熟时这一层的厚度增加，在表土层下部，氧的浓度极低，甚至为零。上部的氧化层为棕色，氧化——还原势随深度呈明显的下降，水稻根际实际上无氧分子，我的这一观点在1972年已得到证实。

如所周知，当水稻根缺乏氧气，则种子的萌发，生长和营养吸收是难以进行的，但由于水稻具有十分发育的嫌气呼吸系统，它在低于3毫巴的氧气压力下也能萌发，但在低氧供应下水稻生长迟缓，所以用过氧化钙($Ca[O_2]$)拌种而提高氧的供应是可促进种子萌发和生长的。

水稻根系和旱地作物相似，其生长发育和营养积累都需要氧的供应，氧的来源是空气中氧的扩散和通过通气组织向根系提供的。

2. CO_2 的积累：

水层的存在同样强烈地减少土壤气体的逸出，並导致 CO_2 、 CH_4 、 H_2 和 N_2 的产物在土壤中积累，增加了气压和产生气泡，特别是 CO_2 压(P_{CO_2})在灌水后的1~3周期间可增大到0.2~0.8巴的峰值，尤其在低铁的酸性土壤，有机土壤和冷浸田中更多出现 CO_2 的伤苗。

二 土壤温度

淹灌在土壤温度上的效应包括以下三个主要的水热力学特性——比土壤物质具有较高的比热和汽化潜热，及导热率。高比热可以防止强烈的土壤温度波动，而高的汽化热对导致淹灌土壤较干土为凉，因而，在热的地方可用灌水以防止土壤出现高温，或在夜间防止低温，稳定土壤温度的效应。

稳定的水层还明显地影响到地表层上空50厘米的微气候，因此，用冷的或温和的水灌溉能迅速地改变土壤、空气和植物的温度状况。它们之间的相互关系说明如图2，水温对土温的影响较之气温为甚。

低土温会妨碍土壤有机氮、磷的矿质化作用，和有利于二氧化碳、有机酸的积累和过量的水溶性铁，这种有害的低水、土温的

影响一般多发生在热带海拔1000m以上的山区，这里的土壤灌溉水是来自山区河流中的冷水。

低水温会抑制种子的萌发，妨碍生长和降低产量，特别当在分蘖盛期和减数分裂期出现小于17℃的低水温产量将明显下降。而在始花期如遭遇水分不足也会形成减产。

（三）膨胀性（Swelling）

当干土淹水时，土壤胶体吸水而膨胀，矿质土壤吸水的比率和体积的增加依赖于粘粒的含量、粘土矿物类型和被吸收的阳离子特性。一般灌水后1至3天土壤膨胀即已达完全。如果是膨胀晶格型的粘土（蒙脱石和贝得石）较固定晶格型的粘土（高岭石和埃洛石）具有更大的膨胀性，钠吸收粘粒较钙、钾吸收粘粒为大，当烂泥田的土壤干燥后，其缩小和减少的体积相当于失水的体积，深的裂缝一般是出现在烂泥田的干干湿湿，因而当复水后，由于沿裂缝而渗漏将造成水分的严重损失。

（四）结持度（Consistency）

当土壤水分增加时，由于其可塑性而使环绕土粒部分的水膜粘贴一起，在这样的含水量下土壤是容易耕作的，而在较多的含水量中，土粒子的粘沾迅速减少，耕作更显得

容易，因而，淹灌的土壤机械阻力小，可以不必使用重型机耕。

（五）团聚体的稳定性

当干田淹灌时，土壤团聚体可完全被水分渗透，並由于内部空气的逸出压力而将其击破，加之胶体的膨胀和团聚体胶结剂为氧化铁等的溶解而使其稳定性进一步下降，钠质土本身在淹灌时团聚体就较易破坏，而铁、铝氧化物和有机质含量较高的土壤稳定性较好，在土壤干燥和氧化过程中，由于较高含量的铁氧化物的破裂和胶结作用可促进土壤重新团聚。

（六）渗透作用（Percolation）

为减少淹灌水的渗漏速度必须把土壤表面搅糊，以促使土壤颗粒分散，膨胀，团聚体破坏，和利用微生物分泌物堵塞孔隙，但在多孔的，无膨胀性的土壤中，淹灌（具有较大的水头）将提高渗漏作用。

结 束 语

水田水稻栽培的特性是在田间保持一稳定的水层。

稳定水层妨碍了土壤和大气的 气体 交换，稳定土壤温度，並因为土壤的膨胀和团聚体的破坏而减少渗透性。

参 考 文 献

- Armstrong, W. 1970. Rhizosphere oxidation in rice and other species : A mathematical model based on the oxygen flux component. *physiol. plant.* 23 : 623—630.
- Baver, L. D. , Gardner, W. H. , and Gardner, W. R. 1972. *Soil physics*. 4th ed. John Wiley, N. Y. . 498p.
- Cho, D. Y. and Ponnampерuma, F. N. 1971. Influence of soil temperature on the chemical kinetics of flooded soils and the growth of rice. *Soil Sci.* 112 : 184—194.
- Kordau, H. A. 1974. The rice shoot in relation to oxygen supply and root growth in seedlings germinating under water. *New Phytologist* 73 : 695—697.
- IRRI 1980. *Annual Report, 1979*. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Nagai, I. 1958. *Japonica Rice*. Yokendo Ltd. Tokyo, 843p.
- Ponnampерuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24 : 29—96.
- Ponnampерuma, F. N. 1976. Temperature and chemical kinetics of flooded soils. *Climate and Rice*. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Ponnampерuma, F. N. 1979. *Soil problems in the IRRI farm*. Seminar Report. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Sanchez, P. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. John Wiley, N. Y. , 618p.
- van Raalte, M. H. 1941. On oxygen supply of rice roots. *Ann. Bot. Gard. Buitenzorg*. 51 : 43—57.
- Wickham, T. H. and Sen, L. N. 1978. Water management for lowland rice : water requirements and yield response. *Soils and Rice*. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Wickham, T. H. and Singh, V. P. 1978. Water movement through wet soils. *Soils and Rice*. IRRI, Los Banos Philippines.

四 粘闭过程及其对水稻生长的影响

世界上大部分的水田水稻栽培有一明显的特点是在淹灌或饱和水分状况下犁翻土壤，並以耕抄的措施促使土壤颗粒分散和破坏结构体，这项重要的耕作措施在水田水稻栽培中是不可忽视的，並称之为粘闭过程。*Ghildyal* (1978) 认为这项措施具有混和水土、减少渗漏的作用。

(一) 粘闭 (Puddling)

这项措施包括如下过程：

- (1) 淹灌土壤並使水分饱和；
- (2) 耕翻呈过饱和状态的土壤；
- (3) 在逐渐降低水分的状况下耕抄土壤。

粘闭的过程可分为两个阶段，即提高土壤水分含量与进行机械耕作。这时随着土壤含水量的增加，团聚体膨胀，土壤变为稀软，团聚体之间的内聚力增加，当田间持水量到达高峰值后，机械阻力减少，这时犁耕土壤就可使团聚体破坏。

(二) 粘闭过程对土壤特性的影响

粘闭过程将使土壤的特性发生如下的变化：

- (1) 大团聚体破坏成小团聚体；
- (2) 非毛管孔隙被破坏；
- (3) 容重减少；
- (4) 持水量增加；
- (5) 水的导电率和渗透度减少；
- (6) 土壤蒸发减少；
- (7) 促进土壤还原作用。

Ghildyal (1978) 给粘闭过程作如下定义：

他认为：“粘闭过程是一种土壤结构的破坏，团聚体本性的损失，並使质地分散和

转变成结构均一的小团聚体的过程。”

粘闭的程度依土壤和耕作措施的不同而有所差异。含蒙脱石类的土壤较高岭石或氧化物类的土壤容易粘闭，而钠质粘土也较钙质土容易。如果提高氧化铁、铝或有机质量则不利粘闭。

粘闭引起的变化是不稳定的。如土壤颗粒沉实和粘粒，粉砂和砂粒的层化作用，容重增加，水分减少，气体在粘闭层被堵塞等。但在还原性的粘闭土壤中，当凉干后表面氧化层的厚度增加和淡红棕色的锈斑锈纹都是容易看到的。如果把水分排干则看得更清楚。干湿交替和耕作都能使团聚体更新。含有机质量和铁、铝氧化物较多的土壤较其它土壤易形成团聚体的更新作用。

(三) 粘闭对水稻的影响

粘闭对水稻的影响是有益的。*De Datta* (1981) 列出下列几个方面：

- (1) 减少耕作的牵引阻力；
- (2) 控制杂草；
- (3) 易于移栽；
- (4) 保持降雨和灌溉水；
- (5) 增加养分的有效性。

在上述几种，尤以控制杂草和保持水分是最重要的。

1、控制杂草：粘闭过程可以把要掩埋下的杂草保持在嫌气的软泥下，使不利于种子的发芽。据*De Datta* (1981) 的认为，在移栽的水稻中耕作是控制杂草的最主要因素。

2、保持水分：粘闭或许是保持水分的最重要措施，它可以减少由于蒸发而损失的巨大水量。根据*Sanchez* (1976) 在菲律宾的六种土壤的圆桶试验观测结果认为粘闭措施可减少渗漏量达1000倍，这些供试土壤的