

水稻土的类型特征及其管理*

赵 其 国

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

世界水稻土可分为草甸土型、沼泽土型及自成土型 3 种起源类型。其中共包括冲积水稻土、淋溶水稻土、潜育水稻土、沼泽水稻土、富铁铝水稻土、变性水稻土、岩成水稻土及盐渍水稻土等 8 种土壤。它们都具有淋溶作用与水耕熟化特征。水稻土的管理主要包括改善土壤物理性质、合理灌溉及协调土壤养分 3 个方面。

世界水稻种植面积虽居于第二位(9700万公顷),但总产量却居世界首位(4.68亿吨),其中亚洲的种植面积及产量分别占89.6及91.6%^[1]。水稻土的形成与类型和水稻的栽培管理密切相关。近年来,随着水稻种植面积不断扩大,水稻耕制的发展,水稻栽培管理问题,越来越引起各国,特别是盛产水稻的东南亚地区人民的关注。本文拟就世界及中国水稻土的类型、性质及其管理经验与问题进行论述。

一、水稻土的类型及分布

世界水稻土的分类与命名尚未统一,为便于论述,现将水稻土按 3 种起源类型, 8 种土壤的特征及其分布简列于表 1。

(一)草甸土型

主要起源于各种草甸土,其代表类型为冲积水稻土。这种土壤种稻后,表土生草层变为水稻耕作层,腐殖质、氮、磷含量均有提高,粘粒和铁锰在一定部位氧化淀积,形成氧化还原的淀积层(Bg层),水分条件好,肥力较高,大多属高产水稻田。中国长江流域,珠江三角洲及南方滨湖区的鳊鱼田,泥肉田均属此类型。印度东南部三角洲的冲积水稻土,土层深厚肥沃,排水良好,也属高产。日本的冲积水稻土,包括棕色低地土、灰色低地土及湿暗色土三种,产量一般中等。朝鲜的冲积土主要在内陆的西部和南部,质地粗、渗透快、生产力低,水稻多连作。缅甸以草甸冲积土为主,呈酸性及中性,肥力中等。泰国中部平原的水稻土大多为微域性冲积物,土层深厚,质地粘重,排水不良。马来西亚沿海平原是由重粘土和粉砂土组成的沉积物,土层深厚,干时开裂。菲律宾沿海平原为近代冲积物,水稻土呈酸性至中性,有机质 9—33gkg⁻¹。埃及尼罗河冲积水稻土粘粒含量296—515gkg⁻¹,有机质含量9—55gkg⁻¹。欧洲东南部地区冲积水稻土,一般含钙质,属壤质土。美国密西西比河冲积水稻土占美国南稻区21%,产量中等。

除冲积水稻土外,在东南亚地区,还出现具有漂白层的淋溶水稻土,它的形成与土壤中粘粒、养分与铁质遭受淋失有关。例如缅甸的退化草甸土,种植以后,由于淋溶强,养分缺乏,腐殖质含量仅约10gkg⁻¹。孟加拉国在排水不良平地上,由于雨季浸水使表层呈灰色。印度尼西亚在西爪哇、东苏门答腊等地区有淋溶水稻土分布。中国在安徽、江苏、浙江一带的

* 本文在1992年国际水稻土肥力及东南亚水稻土会议上宣读。

表1

世界水稻土的类型及特征

类 型 名 称		主 要 特 征	主要分布国家
按起源或水分划分水稻土名称			
草甸土型	冲积水稻土	原为地下水湿润土壤,灌溉后受地表水影响,种稻后,上层为还原态,中间为氧化还原交替,下层又为还原态,在还原淋溶作用下,铁锰下淋,形成氧化还原交替的淀积层,即Ag—P—Bg—G型剖面。	中国、印度、孟加拉国、日本、泰国、印尼、埃及、马来西亚、东南欧、美国
	淋溶水稻土(漂白水稻土)	土壤剖面中的粘粒、养分、铁、铝遭到淋失,出现漂白层或明显淋溶层。	中国、缅甸、孟加拉国、印尼、美国。
沼泽土型	潜育水稻土	全剖面处于还原状态,种稻后,靠排水与施泥肥,灌溉水与地下水分离,形成具有潜育斑的还原淀积层(Br),成为Ag—P—B—G剖面。	中国、日本、朝鲜、缅甸、印尼、斯里兰卡、欧洲
	沼泽水稻土	除以上特征外,以沼泽化和有机质大量积累为特征。	中国、日本、缅甸、欧洲
	富铁铝水稻土	灌溉后,表层为还原态,其下为氧化态,由于粘粒和铁锰淀积,在剖面中形成了氧化淀积层(Bm),发育成Ag—P—Bm—C型。	中国、印度、印尼、日本
自成土型	变性水稻土	除上述特征外尚以膨胀、收缩性大的粘粒矿物量为特征。	中国、印尼、美国
	岩成(火山灰)水稻土	火山灰及其它岩石风化物上发育,质地粗的,磷钾含量少,质地细的,磷钾含量多。	印尼、中国
	盐渍水稻土	以含盐为其突出特征,排水不良,质地粘重,盐基饱和度、阳离子代换量均高。	中国、印尼、泰国、印度、巴基斯坦、伊朗、伊拉克

白土型水稻土,缺乏活性铁和有效锰和磷,也属淋溶水稻土类型。

(二)沼泽土型

属沼泽土起源,包括潜育水稻土及沼泽水稻土两种。

潜育水稻土分布于平原和盆地,地下水位高,排水不良,以明显潜育化为特征。中国的潜育水稻土大多为低产田,包括沅水田、冷浸田和青泥田等。日本的潜育水稻土广泛分布于谷底平原,产量甚低,按还原程度分强潜育、灰潜育及有机潜育水稻土等。朝鲜有305,000公顷潜育水稻土,产量一般较高(3.5—5吨/公顷),朝鲜为单季稻,韩国一般是水稻与冬大麦轮作。缅甸大多为老冲积物发育的草甸潜育土,排水不良,有机质与交换性盐基含量高,宜于种植稻并可获高产。泰国的潜育水稻土,有机质含量 $10-35\text{gkg}^{-1}$,盐基饱和度35—75%,有效磷、钾含量低至中等。印度尼西亚有2000,000公顷潜育水稻土,斯里兰卡潜育水稻土,pH 7—8.5,产量较低。

沼泽水稻土,以沼泽化和有机质大量积累为特征,日本的腐泥土、泥炭土、缅甸的草甸沼泽土及欧洲的漫滩沼泽土上均有水稻种植。排水不良,长期积水,生产力极低。

(三)自成土型

属地带性土壤起源,包括富铁水稻土、变性水稻土、岩成水稻土及盐渍水稻土等。

富铁铝水稻土是在热带亚热带地区地带性土壤上发育的。中国称红壤性水稻土;印度为砖红壤、红壤性水稻土;印度尼西亚为棕色砖红壤;日本为黄壤性水稻土。水稻一般为双季稻,在有水灌溉的条件下,常年产量4—6吨/公顷,如仅靠雨养,水稻仅种一季,产量不足3吨/公顷。

变性水稻土以印度尼西亚热带腐殖质黑粘土为代表，面积有350,000公顷，含蒙脱石为主的粘粒矿物，质地粘重，透水性差，干时土块龟裂。美国变性水稻土占南部稻区11%，剖面下部含有钠盐，如管理不善，易引起盐化，中国淮北及渭南地区，也有这类水稻土。

岩成水稻土，是在火山灰或其他岩石风化物上发育而成，印度尼西亚有400,000公顷分布于火山质崩积、冲积物上，质地砂，易透水，磷钾含量较高，在有水灌溉条件下，水稻能获得一定产量。日本火山谷地也有大面积水稻土，中国西部紫泥田也属本类型。

盐渍水稻土，以含盐为主要特征。中国沿海有这类土壤分布，印度沿海与恒河，在盐渍土上可发展种稻。泰国酸性硫酸盐土有800,000公顷，盐渍化土壤有1500,000公顷，其中部分可以种植，但不少国家由于受盐害影响，水稻生长不良，如巴基斯坦有34%盐渍水稻土受盐害；伊朗有4.4%；伊拉克有50%；索马里有10%，由于受盐渍为害，水稻生长困难，需加管理与改良^[2]。

二、水稻土的基本特征

(一)水稻土的形成特点

水稻土是在各类自然土壤基础上，经过人为灌溉，在长期种植水稻条件下所形成的。同时，水稻土的性质，与原自然土壤相比，其变化甚为明显，概括起来，有以下几个方面^[3]。

1. 土壤有机质含量增加，但其胡敏酸/富啡酸之比，芳构化程度和分子量降低，表明水耕过程使土壤有机质增加，而组成变得简单。

2. 土壤中交换性盐基将重新分布，在饱和的土壤中，盐基淋溶，而在不饱和的土壤中（如红壤性水稻土），则发生复盐基作用。

3. 土壤中铁、锰发生还原淋溶和氧化淀积，这是水稻土形成的重要特征之一。

4. 粘土矿物随不同母质起源的土壤，发生不同的分解和合成过程。

水稻土形成过程由两方面组成：一方面是还原淋溶（包括溶解作用、还原作用及络合作用）和氧化淀积（简称淋溶作用）；另一方面是水耕条件下的物质积累（简称水耕熟化）。因此，水稻土形成过程应该是淋溶作用和水耕熟化的矛盾统一。

(二)水稻土层次的发育

水稻土形成过程中所形成的土壤发生层有：耕作层、犁底层、潜育层、斑纹层或水耕淀积层、潜育层，其中斑纹层或水耕淀积层是水稻土区别于其它土壤的诊断层。

耕作层(A)，在淹水季节，除表层呈氧化态外，其余均处于还原状态。旱作季节，随排水落干分成两层，第1层厚5—7厘米，表面由较分散土粒组成，表面的以下以小团聚体为主，第2层，夹大团块，有铁、锰斑块或红色胶膜。

犁底层(P)，较紧实，片状结构，有铁、锰斑纹。另有含石灰结构或具有潜育特性的犁底层。

潜育层(W)，在季节性灌溉水渗淋条件下形成，可分2种：一种是淋溶作用弱，有微弱铁、锰锈纹；一种是淋溶作用强烈，呈灰色。

斑纹层或水耕淀积层(B)，含有较多粘粒、有机物、盐基和铁、锰等变价元素。按氧化还原强度，此层可划分为3种斑纹层：B_m层(氧化条件下形成)；B_g层(氧化还原交替下形成)；B_r层(发育微弱的斑纹层)。

潜育层(G)，在强还原条件下形成的还原层，经常处于淹水状态。

(三)水稻土发生演化特点

水稻土按起源不同,有以下3种演化特点。

1. 地带性起源水稻土。地带性土壤在灌溉以后,土壤氧化还原状况发生分化,表层为还原态,下层为氧化态,旱地改水田后,剖面形态由A—C型,发育成为A—P—B_m—C型,由于粘粒和铁锰的淀积,增加了土壤的保水性。

2. 草甸土起源水稻土。草甸土原被地下水湿润,灌溉后又受地表水影响,种稻后,上层为还原态,中间为氧化态,下层为还原态,在还原淋溶作用下,引起了铁锰在剖面中的重新分配与移动。

3. 沼泽土起源水稻土。沼泽土的地面和地下水联在一起。种稻后,由于灌溉、耕作与施肥,使地表水和地下水分离,粘粒的分配趋于上低下高。在脱沼泽过程中,游离铁、亚铁等均减少,磷的溶解度降低。

总的说,水稻土起源虽有不同,但在人为耕作灌溉施肥的影响下,可发育成剖面结构相似的水稻土(图1)^[3]。

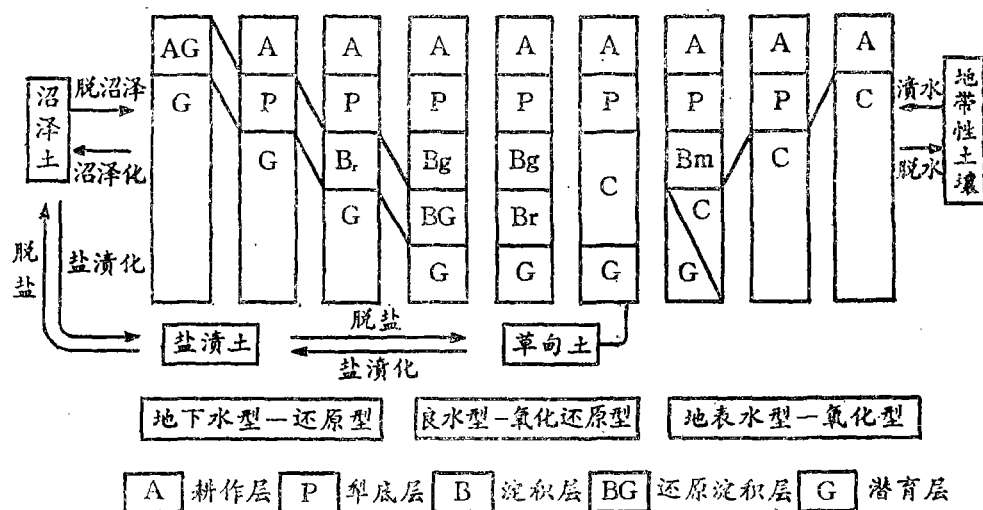


图1 水稻土剖面演化的一般图式

三、水稻土的管理

根据世界种稻经验,水稻土的管理,是决定水稻生长的关键因素。其具体内容包括改善土壤物理性质、合理灌溉和协调土壤养分。

(一)改善土壤物理性质

近些年来,随着水稻复种增加与耕制改变,水稻土管理中,有两个土壤物理性质问题极为突出^[4]。第一是关于耕层粘闭(Puddling)问题^[5],第二是犁底层的渗漏。根据这些问题,改善土壤物理性质,主要采取以下3点措施^[6]。

第一,推行水稻少耕、免耕制。这种方法可以减少水稻粘闭次数,保护耕层土壤的良好结构。根据70年代联合国粮业组织(FAO)在非洲和印度等地布置的免耕试验表明,多数国家常规耕作与免耕相比,水稻产量的差异并不显著。在中国,70年代末开始在太湖稻田上也进行了免耕试验,其效果也不显著。由此可见,关于免耕对于改良土壤物理性质与提高水稻产量的效果问题,仍是值得进一步研究的问题。

第二，推行水旱轮作制。根据中国的试验(表2)，这种耕作制以麦—豆—稻的效果最好，它可使土壤的饱和含水量变成烘干含水量时的土体收缩率较小，水稻收获后有利于旱作地通气孔隙增多，易于整地作业。

第三，增加粗有机质。采用粗有机质还田是改善粘闭状况的有效措施，中国在太湖5年的试验表明(表3)，在施用一定的有机物料后，水稻土脱水后，进气较快，硬度较小，这有利于水稻后季旱作物的及时整地与播种，并可提高水稻产量^[4]。

表2 不同轮作制对水稻土物理性质及经济效率的影响(大田试验, 3年)

轮作制	>200 μ m 通气孔隙度 (%)	<5 μ m持水 孔隙度 (%)	曲饱和持水 量到烘干土 的收率率 (%)	破裂系数 (MPa)	经济效益 (每投1元的 收入)
稻—稻—麦	7.9	41.8	17.9	0.62	1.24
稻—麦	12.1	36.0	13.0	0.39	1.70
稻—豆—稻	15.1	35.0	11.3	0.33	2.18

表3 施用有机物料后脱水时土壤物理性质的变化^①

处 理	相对含水量 (%)	容 量 (g/cm ³)	>200 μ m通气孔隙度 (%)	总孔隙度 (%)	穿透阻力 (kg/cm ³)
施有机物料(相 当10%稻草)	100	1.06	4.0	60.6	0.10
	78	1.04	13.4	60.7	0.70
	59	1.05	11.4	60.4	1.22
	干	1.42	—	46.4	—
对 照	100	1.31	3.1	50.6	0.50
	89	1.36	2.8	48.7	0.60
	47	1.39	3.3	47.5	2.17
	干	1.74	—	34.3	—

① 供试土壤为黄棕壤，粘粒含30%，土壤饱和水分时的含水量为100。

(二)合理灌溉

稻田水分的合理管理与水稻对水分需要及地区的水文特点有关。在这方面，Kyuma (1972)根据水分平衡将东南亚水稻土分成9个不同的气候区，这里仅论述在有灌溉条件下的稻田管理问题。

稻田水分管理有多种目的：一是满足水稻或旱作的生理需水；二是满足水稻及早作整地需要；三是保证稻田在淹水期有适量水分渗漏，有利于防止渍害和病害。

稻田水分管理包括灌水与排水两个方面。根据中国的经验，为满足水稻生理需水要求，稻田灌水管理通常分干干湿湿、浅水层和深水层3种灌溉方式(表4)。

在平原稻区，由于土质粘重，内排水不良，渍害成为影响水稻生长的主要因素，因而必须搞好水稻土的排水。在这方面，根据中国的经验，开沟排水，埋设暗管或采用鼠穴排水(mole drainage)等，是保证水稻高产的重要措施。目前，中国在太湖地区多采用暗管排水法，暗管埋设深度和间距因土壤质地而异，粘质土、壤质土和砂质土的埋深分别为1.1—1.2、1.0—1.2和1.0米，其间距分别为6—10、15和20米。由于犁底层的导水率很低，在埋设暗管的基础上，可在地表开挖深为30厘米的浅明沟。这个措施可使旱作三麦(大麦、小麦、裸麦)

表4 灌溉方式对水稻产量的影响

年 份	灌溉方式	灌溉定额		产 量	
		(m ³ /ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
1975	干干湿湿	8361	90.4	9225	107.4
	浅水层	9247.5	100.0	8587.5	100.0
	深水层	11824.5	127.9	7327.5	85.4
1976	干干湿湿	7410	90.7	7447.5	102.6
	浅水层	8170.5	100.0	7260	100.0
	深水层	11121	1356.1	7267	86.5

增产15—30%，水稻增产10%左右。

在珠江三角洲则广泛采用鼠穴排水。鼠穴(用专门钻头在土中打洞)埋深0.6米，间距约4米，可以明显改善土壤的通气性，从而使早、晚稻分别增产20.4和12.2%(表5)。

(三)协调土壤养分

从世界情况看，水稻产量的高低除与土壤条件、水分状况有关外，主要决定于养分供应与化肥施用水平(表6)。实践表明，氮素是水稻生长的限制因素，其次是磷。但随着高产品种的推广和产量的提高，对钾肥的要求将有所增加。在微量元素中，锌可能是常见的一种缺乏元素，而硫则或缺或不缺。应当指出，随着高产矮秆水稻品种育成和推广，必须适当地增加化肥的施用量，以使其增产潜力得到更好发挥。

表5 珠江三角洲水稻土鼠穴排水的增产

处 理	渗漏水中溶解气体 (mg/L)		根 量(%)		产 量 (t/ha)			
	CO ₂	H ₂ S	白 根	黑 根	早稻	增产(%)	晚稻	增产(%)
对 照	27.50	0.98	15.19	19.18	5.16	0	5.20	0
鼠穴排水	14.18	0.65	37.29	4.06	6.21	20.39	5.92	12.22

表6 世界主要稻米生产国的化肥施用水平(1985)*

国 家	公斤/公顷				公斤/人			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	合 计	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	合计
亚洲	24.6	7.7	2.8	35.1	9.6	3.0	1.1	13.7
孟加拉	37.8	14.1	3.7	55.5	3.6	1.4	0.4	5.3
缅甸	12.8	4.8	1.4	19.1	3.6	1.3	0.4	5.4
中国	35.4	7.1	1.1	43.7	12.9	2.6	0.4	15.9
印度	31.5	10.7	4.7	47.0	7.5	2.6	1.1	11.2
印尼	39.7	15.3	5.4	60.4	7.8	3.0	1.1	11.9
日本	129.0	137.8	114.0	380.7	5.7	6.1	5.1	17.0
菲律宾	22.7	4.7	3.9	31.3	3.8	0.8	0.6	5.2
泰国	11.9	5.4	3.3	20.6	4.6	2.1	1.3	8.0
越南	37.5	8.1	8.4	54.0	4.4	1.0	1.0	6.4
巴西	3.5	5.4	4.4	13.3	6.3	9.7	7.8	13.8
美国	22.0	8.7	10.6	41.3	39.6	15.8	19.1	74.5

* 联合国粮农组织：肥料年鉴，1986。

研究表明,水稻对氮肥的利用率大多低于40%,损失十分严重,据田间 ^{15}N 微区试验,其损失可高达60—70%,这不仅降低氮肥效益,而且不利于环境保护。关于稻田中氮肥损失及提高氮肥利用率问题,是多年来国际共同关注的问题^[7]。近些年来,国际水稻所(IRRI)马来西亚及中国在这方面取得一些进展^[6]。首先,改进了水稻氮肥的剂型,提出了大粒氮肥(大粒尿素等)的穴深施法。在大多数情况下,此法较习惯法明显增产,氮素损失可降至20%以下,而习惯法在50%左右,但这项技术在推广中存在的问题是,大粒氮肥的供应不足与施用费工。其次,研究了水稻氮肥用量,通过水稻多点的田间氮肥用量试验,以确定其适宜用量的平均值,并据此作为推荐适宜施用量的主要依据,这是一个简单易行的方法,在大多数情况下可获得满意的结果。同时,在减少氮肥损失的施肥技术方面,如氮素的适宜分次施用法,将尿素施于排干后的田面,然后灌水的方法等,也有很好的效果。此外,在氮肥中添加生物活性抑制剂或制造长效氮肥,有一定效果。但已有的研究表明,硝化抑制剂大多数不能明显减少氮肥损失,对于在尿素中添加脲酶抑制剂后是否能使水稻增产问题,迄今所得结果尚不一致,有待进一步研究。长效氮肥由于成本过高,加之效果并不如大粒氮肥深施,因而难以推广应用^[8]。

重视有机肥料及有机废弃物在稻田中的利用,是既有利于节省化肥,减少能量与资源的消耗,又能持土壤肥力的重要方法。据估算,1986年中国农业生产中,养分再利用的数量分别是:氮495万吨, P_2O_5 322万吨, K_2O 751万吨,占收获物中养分量的比例分别为43%、67%和65%。目前,通过水稻轮作,施入土中的有机肥有草塘泥、厩肥、秸秆还田,绿肥有紫云英、苕子、蚕豆与红萍等。但就有机废物利用而言,当前这种废物循环的比例随工业化进展而逐渐下降,这对资源浪费与环境污染均有影响,必须制订政策,加强有机废弃物的养分再利用。

水稻施肥,不仅因作物种类、水稻生育期长短而异,而且受土壤供肥能力与气候影响,不少问题尚有待今后深入研究。

参 考 文 献

- [1] 赵其国,水稻耕制中的土水管理,土壤学报,第28卷,3期,249—259页,1991。
- [2] 朱鹤健编,世界土壤地理,高等教育出版社,1985。
- [3] 熊毅,李庆远主编,中国土壤,科学出版社出版,1990。
- [4] 姚贤良,关于耕作制中的土壤物质问题,土壤学进展,第5期,1—16页,1988。
- [5] 熊毅等,耕作制对土壤肥力的影响,土壤学报,第17卷第2期,101—119页,1982。
- [6] 姚贤良、于德芬,关于集约农作制下的土壤结构问题。I. 有机物料及其利用方式对土壤结构的影响。土壤学报第22卷3期,241—250页,1985。
- [7] Zhu Z. L., Efficiency of Urea in Crop Production in China. pp 117—132 in Proc. Inter. Symp. on Urea technology and Utiliration, Malaysian society of Soil Science, 1988.
- [8] Zhu Z. L., and Xi. Z. B., Recy ling of phosphours from crop and animal westes in China. 6—10. march IRRI, 1989.