

# 水稻土的排水及其意义\*

程云生

(中国科学院南京土壤研究所)

我国种植水稻的历史十分悠久,种植面积亦甚广。水稻土遍及全国,南起热带的海南岛,北至寒温带的黑龙江,东自台湾省,西到新疆、西藏自治区,总面积约三亿九千万亩。据1980年的统计<sup>[2]</sup>,1979年水稻种植面积占全国粮食播种总面积的28.4%。稻谷产量占全国粮食总产量的43.3%。水稻生产在粮食生产中占十分重要的位置。

我国的水稻单产变幅很大,高产的可达到1300斤/亩以上,低产的只有200—300斤/亩。低产水稻土的面积约占水稻土总面积的26%<sup>[26]</sup>。水稻低产的土壤因素很多,如土粒过粗,土质紧实,或土粒过细,渗透太差,或因含硫过多,形成酸毒田<sup>[6]</sup>,但主要的是地下水位高,排水不良,土温低,土质粘闭,还原性物质多,通气性差,养分贮量虽高,但有效养分含量低。改善的办法主要是采取排水措施。

要改良低产水稻土,提高肥力水平,增加稻谷产量,一个十分重要的问题就是建立合理的田间排水工程,千方百计地把地下水位降下去,使水稻根系活动层的通气性得到根本的改善。排水措施不仅对低产潜育水稻土的增产作用十分显著,而且对于集约化农业生产中培育高产水稻亦是一项有效的管理技术<sup>[4,7,10,17-19]</sup>。世界稻谷主要生产国,特别是日本、印度、菲律宾等国亦十分重视水稻土的排水问题<sup>[20,23,28]</sup>。

## 一、土壤水分状况与有机质含量的关系及其对土壤物理性质的影响

水稻土中有机质与水分状况的关系不仅受自然条件的影响,而且还受人类生产活动的影响。水稻土在植稻期间,大部分时间处于淹水状态。但是,土壤的水分状况又因所处地形部位而异,特别是地下水位的高低会对全年土壤水分状况有较大的影响。这种影响的程度又因作物而异,旱作期间比水稻期间的影 响要大。因此,土壤排水的良好与否也必然要影响到有机质的分解和积累的进程。表1的资料表明,无论是山区、丘陵区或平原地区的水稻土,其有机质含量与土壤的水分状况密切相关。排水不良的比排水良好的水稻土,其有机质的含量都有明显的积累。

水稻土地区以种植水稻为主的轮作制度虽是各种各样,但从土壤水分状况的差异来看,不外乎水旱轮作和水稻连作两大类。水旱轮作比水稻连作的土壤,全年的淹水时间要短。这种淹水时间的不同也会影响有机质的含量。我国南方地区,水稻连作的比水旱轮作的土壤有机质含量亦有明显的增加(表2)。如在淹水条件下,多施用有机肥料更将提

\* 承蒙文启孝同志提供了宝贵意见;姚贤良同志提供了未发表的数据,在此一并致谢。

表 1 地形和水分状况对土壤有机质含量的影响<sup>[4]</sup>

Table 1 Effect of topography and water regime on organic matter content of paddy soils

地 点 Location	地 形 Topography	水分状况 Water regime	样品数 No. of samples	有机质(%) Organic matter
江 苏 Jiangsu	平 原 Plain	地下水型 Water-logged	11	3.47
		良水型 Well-drained	26	2.20
江 西 Jiangxi	山 区 Mountainous	地下水型 Water-logged	12	3.23
		良水型 Well-drained	19	3.08
广 东 Guangdong	丘 陵 Hilly	地下水型 Water-logged	6	3.12
		良水型 Well-drained	4	2.21

表 2 轮作制度对土壤有机质含量的影响<sup>[4,11,12]</sup>

Table 2 Effect of cropping system on organic matter content of paddy soils

地 点 Location	轮作制度 Cropping system	有机质(%) Organic matter
湖 北 Hubei	水稻连作 Rice-rice	2.03—2.15
	水旱轮作 Rice-upland crop	1.85—1.94
浙 江 Zhejiang	水稻连作 Rice-rice	3.11—5.21
	稻棉轮作 Rice-cotton	2.01—2.87
太湖地区 Taihu Lake Region	双季稻三熟制 Rice-rice-wheat	2.74±0.94
	水旱轮作 Rice-upland crop	2.45±1.04
上海郊区 Shanghai suburbs	双季稻三熟制 Rice-rice-wheat	2.14±0.19
	水旱轮作 Rice-upland crop	1.58±0.14

高土壤中的有机质含量。下面将讨论土壤有机质对改善水稻土物理性质的作用。

田间连续三年放养绿萍，施用水葫芦或稻草等新鲜有机物质都可以降低土壤抗压强度和容重，并增加总孔隙度和微团聚体的含量（表 3）。但是，孔隙度的改变只是增加了毛管孔隙的比例，而未能改善土壤的通气孔隙，致使土壤的持水能力增强，而土壤通气性反而有恶化的趋势。看来，土壤中水多气少会减弱有机质对改善土壤物理性质的效果。

许多研究水稻土结构的工作者<sup>[13,14]</sup>，都把微结构的变化、特性及其对肥力的作用作为一个主要研究内容，并认为水稻土的微结构与有机质含量、颗粒组成、胶体特性以及水分条件等有关。表 4 列举的结果表明，在质地大体相同和良好排水的条件下，土壤有机质的含量与土壤微团聚体、容重及孔隙度均有显著的相关。这说明在水分状况良好的条件下，水稻土的有机质，对土壤物理性质的改善有积极的作用。相反，如果土壤水分状况不良，尽管土壤有机质的含量高，也不一定能够起到改善土壤物理性质和提高土壤肥力水平的

表 3 有机肥料对粘质水稻土物理性质的影响\*

Table 3 Effect of organic manures on physical properties of clayey paddy soil

处 理 Treatment	抗压强度 (kg/cm <sup>2</sup> ) Modulus of rupture	1—0.01毫米微团 聚体(%) Microaggregate, 1—0.01mm	容重 (g/cm <sup>3</sup> ) Volume wt.	总孔隙度 (%) Total porosity	非毛管孔隙度 (%) Non-capillary porosity
绿萍 Azolla	27.9	—	1.11	58.0	4.5
对照 Check	31.4	—	1.23	53.5	4.4
水葫芦 Common water hyacinth	26.0	77.9	1.20	54.9	6.8
对照 Check	30.7	76.9	1.25	52.8	6.1
稻草 Rice straw	26.0	79.1	1.14	56.8	6.1
对照 Check	31.6	76.4	1.18	55.6	8.8

\* 姚贤良同志提供的资料。

表 4 太湖地区奥水水稻土的有机质与某些物理性质的相关性<sup>(6)</sup>

Table 4 Correlations between organic matter and some physical properties of permeable paddy soils in Taihu Lake Region

X	Y	回归方程 Regression equation	r	n
有机质(%) Organic matter	1—0.05 毫米 微团聚体(%) Microaggregate, 1—0.05 mm	$Y = 14.616 + 4.354X$	0.771**	14
	浸水容重(g/ml) Volume wt. in water	$Y = 0.726 - 0.059X$	-0.851**	14
	容重(g/cm <sup>3</sup> ) Volume wt.	$Y = 1.526 - 0.182X$	-0.853*	6
	孔隙度(%) Porosity	$Y = 43.234 + 6.606X$	0.838*	6

注: 此表是根据参考文献[6]和姚贤良同志提供的部分未发表的数据统计的。

\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ 。

效果。

水稻土的有机质含量高往往与水分状况不良有关,而与肥力水平不一定有关。在同一地区的水稻土,由于地形部位的差异,其地下水位的高低亦不同。而这种地下水位的高低与有机质含量密切相关。有资料表明<sup>[4]</sup>,地下水位在 0.6 米以下时,土壤有机质的含量为 2.67%;而地下水位逐渐升高到 0.4—0.6, 0.3—0.4 和小于 0.3 米时,有机质的含量相应地增加到 3.54, 3.92 和 4.72%。但是,稻谷产量和肥力水平是随着地下水位的下降而增高,即从 200—300 斤/亩增至 800—1000 斤/亩。所以,可以认为,水稻土的肥力水平在很大程度上受土壤水分状况的制约。因此,土壤有机质对改善水稻土的物理性质的作用是

有条件的。对于洼地和粘质的低产水稻土来说,只有先改善其不良的水分状况,然后才能使有机质发挥应有的作用。

植稻土壤的机械性质,可以概括地反映在土壤的硬度上。这是我国农民在争取水稻高产的实践中积累的一条经验。水稻生育的各个时期对土壤硬度的大小要求是不一样的。水稻生长前期要求土壤烂软些,后期则要求板硬些,这样有利于水稻形成高产。这也是水稻土肥力变化的一种综合表现<sup>[12,6,14,17]</sup>。土壤烂软时,土粒间距较大,固相容积百分比比较低,容重及硬度均较低,这有利于水稻根系的伸长,能吸取更大范围内的养分;土壤板硬时则相反。盆栽试验也表明<sup>[15]</sup>,土壤烂软时有利于水稻分蘖期的生长;土壤板硬时则相反。

植稻土壤的硬度是可以通过水分管理及耕作进行调节的。淹水或耕作可以促使土壤烂软,而排水则可使土壤变得板硬。从调节土壤硬度出发,在水稻生长期间排水烤田的作用明显的<sup>[16]</sup>。植稻土壤排水后,土壤逐渐收缩、粘结而使土壤硬度逐渐增高;淹水后则因土壤的膨胀、土粒的水化逐渐失去其粘结能力而使硬度逐渐降低。但是,在土壤水分状况相同的条件下,有机质的含量亦能影响水稻土的硬度变化。一般而言,有机质含量高的比低的土壤,其硬度都较低。表3和表4的结果可以作为这方面的一个例证。然而,还必须指出,在田间条件下,对某一个具体的植稻土壤来说,它的硬度变化主要受土壤水分条件的影响是可以肯定的。

植稻土壤的烂软或板硬可以用土壤容重或土壤硬度来表示。但后者较前者有较高的灵敏度,而且还可以反映土壤颗粒的相互粘结和植株根系交织的应力,并在田间易于进行测量<sup>[16,17]</sup>。

综上所述,水稻土的有机质和水分状况对土壤物理性质的作用是明显的。尽管排水不良的水稻土,其有机质含量较高,但它对土壤物理性质所起的作用不如水分状况来得突出。这主要是因为地下水水位高,通气不良往往会抑制有机质对土壤物理性质的作用。因此,对于排水不良的水稻土,要改变其不良的物理性质,应该首先解决土壤的排水,然后再提高有机质的水平。不言而喻,对于排水良好的水稻土,有机质对其物理性质的作用就显示出应有的良好效果。

## 二、稻田排水对土壤性质的影响

植稻期间土壤处于淹水状态,它对水稻生长能提供较多的营养物质和良好的水分条件。但是,由于土壤淹水,孔隙充满了水而使氧气大量减少,加之生物活动往往会积累较多的二氧化碳、硫化氢、有机酸类及低价铁、锰等。这对水稻生长是不利的,甚至有时会使水稻中毒。为了消除这些不良因素,促进水稻生长,一个很重要的措施就是排水烤田。

植稻土壤的排水有两种方式,一是土壤本身的排水,二是稻田的蒸发和蒸腾。前者主要决定于土壤的渗漏速度,后者则随温度条件和水稻生育阶段而变。更新根系环境主要靠人工排水进行调节。

植稻土壤灌溉水的入渗可将溶解氧及有效养分带入土壤并能排除一部分有毒物质,使水稻免遭危害。如若渗漏速度过快则易造成水分和养分的流失,过砂的土壤就是如此。

如若渗漏速度过慢则因缺氧而难以排除有毒物质,粘重的、有机质含量高的土壤往往就是这样。所以,水稻土的渗漏速度要有一个适宜的范围。这已成为许多工作者注意研究的问题,并已提出了相应的范围。日本 Nakagawa<sup>[23]</sup> 提出水稻土最适渗漏速度为 15—25 毫米/日,印度 Dastane<sup>[25]</sup> 认为是 1—5 毫米/日,陈家坊等<sup>[22]</sup> 综合了我国江苏、浙江、上海、广东各地的研究结果后认为 7—20 毫米/日最为适当。上述适宜水稻高产的渗漏速度之所以不同,可能是由于土壤条件及栽培技术的差异。

调节水稻土的渗漏速度,对于过湿、较粘的土壤至为重要。各地研究都表明<sup>[5,10,18],1-3)</sup>,在田间采取鼠洞或暗管排水是可以提高土壤的渗漏速度。对于大多数粘质水稻土来说,在植稻期间采取排水烤田,不仅可以使土壤的渗漏速度增大 2—3 倍,达到最适范围,而且可以使地下水位下降到 30—40 厘米以下,有利于土壤通气性的改善(表 5)。

表 5 水稻土排水对渗漏速度和地下水水位的影响<sup>[5,10,18],1-3)</sup>

Table 5 Effect of drainage on percolation rate and ground water table of paddy soils

地 点 Location	处 理 Treatment	渗 漏 速 度 (mm/day) Percolation rate	地 下 水 位 (cm) Ground water table
江苏常熟 Changshu, Jiangsu	淹 水 Flooding	6.7	—
	排 水 Drained	16.0	—
江苏昆山 Kunshan, Jiangsu	自然排水 Natural drainage	—	29—30
	暗管排水 Tile drainage	—	41—48
上海郊区 Shanghai suburbs	淹 水 Flooding	3—4	14—21
	排 水 Drained	9—15	38—45
福建莆田 Putian, Fujian	淹 水 Flooding	6	60
	排 水 Drained	9—15	80—85
广东中山 Zhongshan, Guangdong	淹 水 Flooding	—	19—29
	排 水 Drained	—	22—46

水稻田尽管有大量灌溉水进入土体,但土壤孔隙并未完全被水所充满。这可能是由于一部分孔隙被水封闭滞留在土壤内的缘故。研究表明<sup>[17]</sup>,种植水稻的土壤,在淹水条件下,土壤耕层由于耕耙整地促使土体充分分散以及吸水膨胀的作用,导致土壤容重可小到 1.00 克/厘米<sup>3</sup> 左右,排水后土壤含水量逐渐减少到田间持水量左右,土壤容重亦逐渐增大,一般可增大到 1.20 克/厘米<sup>3</sup> 以上。因此,土壤固、液、气三相也有很大变化<sup>[4,17,24]</sup>。淹

1) 广东省农科院土肥所中山县同乐基点组,1977: 鼠穴暗洞排水对改良土壤物理性质与提高水稻产量的作用(资料)。

2) 江苏省常熟县农田水利试验站,1979: 暗洞治理湿害促进农作物高产(资料)。

3) 黄伟强,1982: 水稻灌溉与稻田暗管排水几个问题的研讨(资料)。

水条件下,三相比中气相容积约有 1—5%。排水后由于大气进入土壤,提高了气相容积的比例,排水后第八天可达到 10% 以上。土壤氧化还原电位从排水前的负值上升到排水后的 500 毫伏以上。一般说,水稻田的土壤氧化还原电位的高低,主要受土壤中氧体系的支配。土壤溶液中溶解氧的含量直接与土壤空气中氧分压的高低有关。

研究表明<sup>[17]</sup>,排水后土壤空气中氧气的含量从排水前的 5% 升高到 18%,随后又下降至 8%;二氧化碳的含量在排水初期明显升高,以后又复下降,即从 8% 左右增加到 12% 左右,再下降到 4% 左右。这可能与土壤中生物的活动有关。土壤空气中 CO<sub>2</sub> 主要来自土壤本身的生物活动及植株根系的生命活动,它是有机物质分解和生物呼吸作用的最终产物之一。若土壤中积累过多的 CO<sub>2</sub> 将对植物根系和微生物的活动不利,所以稻田排水可以减少 CO<sub>2</sub> 的积累,有利于植物根系环境的更新。

稻田排水导致土壤空气组成的变化亦必然要引起土壤液相中溶解氧的变化。从田间测定土壤渗漏水中溶解氧含量的变化看,排水处理的田块,从排水前的 0.65 毫克/升增加到排水后的 1.69 毫克/升,而对照淹水田却维持在 0.6—0.8 毫克/升之间。这些都充分说明稻田土壤排水后极大地改善了土壤的通气条件,有利于水稻的生长发育。

从调节土壤肥力因素来说,可以认为稻田排水烤田的作用,在水稻的任何生育时期进行都是一样的。但是,稻田排水烤田的时期及其持续时间的长短,对水稻产量有着不同的结果。从农民的实践和研究的结果可以认为,在水稻生长发育的苗期、分蘖期、幼穗分化期及乳熟灌浆期不宜进行较长时间的排水烤田,否则会导致产量下降。从水稻分蘖末期到幼穗分化前排水烤田比较重要,一般均能增产。因为此时正值水稻从营养生长阶段向生殖生长阶段过渡。此时排水能以促进水稻根系下扎,稻株健壮,有利于壮秆、大穗,形成高产。要指出的是稻田排水烤田必须因土、因苗来确定。具体的讲,就是土烂苗旺要排水烤田。对于低地、粘质、泥烂和肥沃的水稻土,只要土烂苗旺一定要排水烤田;而对高地、砂质、板结和贫瘠的水稻土就不一定要进行排水,至多也只能把田面水层落干并及时灌水<sup>[4,17,19,26]</sup>。此外,在水稻收获前都必须排水,这是为了便于收获并有利于后季作物的整地。这就是稻田排水所应掌握的技术原则。

### 三、稻田排水对水稻生长的影响

稻田排水既然改善了土壤的物理性质,特别是土壤的通气性,那么就一定会反映在水稻的生长发育上。水稻根系色泽的变化是反映根系活力的一个重要方面。白色根活力最强,黄色根次之,黑色根因受毒害而失去活力。根据江苏、广东等省的研究结果<sup>[5,11-3]</sup>,稻田排水烤田后,根系中白色根的比例可增加 5—22%,黄色根的变化不大,而黑色根的比例可下降 5—24%。表 6 的结果也表明<sup>3)</sup>,稻田暗管排水,在水稻不同生育阶段,根系中的白色根所占比例都大于淹水田,而且随着水稻的生长发育白色根的比例也逐渐增大,而黑色根的比例则下降。根系的平均长度也是排水田的较淹水田的长。这样一来,就增大了根系的营养面积及活动范围。

1—3) 同前。

表 6 暗管排水对水稻根系的影响<sup>3)</sup>

Table 6 Effect of tile drainage on root growth of rice

处 理 Treatment	根 色 Root color	%			平均根长 (cm) Mean root length
		分蘖期 Tillering stage	抽穗期 Heading stage	乳熟期 Milky stage	
淹 水 Flooding	白 White	17	8	0	36
	黄 Yellow	64	72	76	
	黑 Black	19	20	24	
暗管排水 Tile drainage	白 White	22	17	19	42
	黄 Yellow	64	70	81	
	黑 Black	14	13	0	

3) 同前。

水稻根系活动的强弱还可以用根的呼吸强度来说明。研究表明<sup>[5]</sup>, 用根系的耗氧量作为指标说明根系活力的强弱, 其结果是排水后第二天排水田和淹水田的根系的呼吸强度分别为 20.82 和 18.83 微升/克·小时, 排水后第七天分别增加到 29.00 和 25.25 微升/克·小时。这说明稻田排水后, 根系的呼吸强度是随着排水时间的延续而逐渐增强, 增强的幅度要比淹水田的高出 15% 左右。此外, 有人<sup>[9]</sup>应用 P<sup>32</sup> 测定了根系的活力, 其结果表明, 在暗管排水条件下, 水稻根系的活力比淹灌田的要高出 60% 以上。所有这些都说明了稻田排水对根系具有促进的作用。这种情况必然要反映在水稻地上部分的生长。

稻田排水烤田后, 首先使水稻叶色从青绿色或深绿色变为黄绿色或淡绿色。研究表明<sup>[5]</sup>, 这种植株叶色的变化与水稻吸收养分的多少, 特别是与氮素的含量有关。排水田比淹灌田的水稻叶片中的含氮量要低。但是, 排水可促使水稻茎秆坚实, 其机械组织的厚度有所增加, 且细胞间空腔的数目和直径都变小, 细胞排列也较密。

表 7 排水对水稻干重的影响<sup>[5,17]</sup>

Table 7 Effect of drainage on dry weight of rice plant

处 理 Treatment	排水后天数 Days after drainage			
	1	3	8	9
单蘖干重(克) (1959) g/tiller				
淹 水 Flooding	—	1.47(100)	1.97(134)	—
排 水 Drained	—	1.34(100)	1.65(123)	—
单株干重(克) (1963) g/plant				
淹 水 Flooding	5.65(100)	—	—	7.75(137)
排 水 Drained	8.82(100)	—	—	9.21(104)

植株干物质重量的变化是说明其增长速度较好的标志。从 1959 和 1963 两年的研究结果(表 7)<sup>[5,17]</sup> 中看出, 排水烤田的比淹水的水稻单蘖(或单株)干重的增长速度和增长量都低。这表明稻田排水对地上部的生长起暂时抑制的作用。然而, 必须看到, 水稻生长中

期因排水而使茎秆长得结实对争取高产,防止倒伏就有了一个良好的基础<sup>[4,13,17]</sup>。所以,从水稻全生育过程看,稻田排水烤田的作用是十分有益的。

尽管水稻产量构成因素较为复杂,但是,只要根据稻田土壤变化及水稻生长情况,采取合理的排水措施,水稻一定会增产。据江苏、浙江、上海、福建、广东等地区多年来的大量试验研究,排水合宜可提高水稻的产量,其变幅在2—27%之间,多数可增产10—20%<sup>(4,7,9,10,18,21,1-3)</sup>。

#### 四、水稻土田间排水工程设施

在我国,农民群众对水稻的水分管理有着丰富的经验。在改良低产水稻土和夺取水稻高产的长期生产实践中形成了一套因土、因时的排灌技术。五十年代以前,由于土地分散经营,农田排灌系统缺乏科学规划。之后,大规模农田水利工程有了很大的发展。稻田排灌系统得到了合理的安排。稻田排水是以明沟为主,采取表面排水和依靠土体自然排水,土地利用效率只有90%左右,而每年要化费相当多的劳力开挖田间排水沟系。六十年代初开始研究鼠道排水和暗管排水。先是为消除旱地土壤渍水的危害,以后才逐渐应用于稻田排水,其效果是显著的<sup>(9,21,1-3)</sup>。

目前,稻田的排水方式是以明沟和鼠道、或暗管并存的状态,并逐步由明沟、地面排水向鼠道、暗管地下排水的方向发展。这不仅对集约化农业的发展,而且对提高土地利用效率、机械作业以及节约用水和劳力都有重要意义。据江苏、广东等地区的试验结果,认为鼠洞的深度应为0.6—0.8米,其间距对壤质土和粘质土分别是4—5米和2—4米。暗管的埋深对砂壤土、壤质土和粘质土是1.0,1.0—1.2和1.1—1.2米,其间距应分别为20,15和6—10米。

#### 参 考 文 献

- [1] 易品仙,1963: 水稻土结构性的初步研究。土壤学报,第11卷3期,306—311页。
- [2] 万传斌、程云生,1962: 陈永康同志看土耕耙、施肥和管理水浆经验的分析。江苏农学报,3期,34—41页。
- [3] 中国农业年鉴编辑委员会编,1981: 中国农业年鉴(1980)。34页,农业出版社。
- [4] 中国科学院土壤研究所,1961: 水稻丰产的土壤环境。79、238、399—409页,科学出版社。
- [5] 中国科学院土壤研究所常熟工作组,1959: 水分管理对土壤性状的影响及其意义,土壤学报,第7卷3—4期,203—217页。
- [6] 中国科学院南京土壤研究所主编,1978: 中国土壤。36—48、256—259页,科学出版社。
- [7] 江苏省无锡县农业局、中国科学院南京土壤研究所东亭任务组,1976: 前季稻高产栽培的水浆管理。土壤,5—6期,255—260页。
- [8] 陈家坊、程云生、刘芷宇,1961: 陈永康的水稻高产措施和理论的初步总结。土壤,8期,6—16页。
- [9] 杨金楼、朱济成、姜素珍,1978: 上海郊区土壤的排水问题。土壤学报,第15卷1期,95—100页。
- [10] 杨金楼、朱济成、姜素珍,1979: 暗管在水田中的排水增产作用。土壤,1期,10—15页。
- [11] 姚贤良、赵渭生、于德芬、许绣云,1978: 高产水稻土结构特性的初步研究。土壤学报,第15卷1期,1—12页。
- [12] 徐琪、陆彦椿、刘元昌、朱洪官,1980: 中国太湖地区水稻土。上海科学技术出版社。
- [13] 崔继林、汪宗立,1960: 从生理和生态需水特性论水稻的合理灌溉技术。华东农业科学通讯,1: 21—27页。
- [14] 程云生,1962: 陈永康水稻高产经验中看土耕耙技术的初步研究。土壤通报,4期,53—56页。



- [15] 程云生, 1965: 水稻土的软硬度对水稻分蘖期生长的影响。土壤学报, 第13卷4期, 463—464页。
- [16] 程云生、林长英、杨苑璋、徐梦熊, 1979: 水稻土的软硬状况及其影响因素。土壤学报, 第16卷70—74页。
- [17] 程云生、赵国骅, 1963: 烤田作用的初步研究, 土壤学报, 第11卷3期, 275—285页。
- [18] 福建农学院农学72级二班四组工农兵学员, 1976: 烤田对于协调水田土壤肥力和增产的作用。土壤, 5—6期, 285—289页。
- [19] 熊毅、徐琪、姚贤良、朱兆良, 1980: 耕作制对土壤肥力的影响。土壤学报, 第17卷2期, 101—119页。
- [20] Brady, N. C., 1981: Soil factors that influence rice production. Pages 1—19 in Institute of Soil Science, Academia Sinica, ed. Proceedings of Symposium on Paddy Soil. Science Press, Beijing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [21] Cheng Yun-sheng, 1981: Drainage of paddy soils in Taihu Lake Region. Pages 517—523 in Institute of Soil Science, Academia Sinica, ed. Proceedings of Symposium on Paddy Soil. Science Press, Beijing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [22] Chen Jia-fang and Li Shi-ye, 1981: Some characteristics of high fertility paddy soils. Pages 20—30 in Institute of Soil Science, Academia Sinica, ed. Proceedings of Symposium on Paddy Soil. Science Press, Beijing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [23] Ezaki, K., 1976: Drainage of paddy field in Japan. Pages 273—282 in Tropical Agriculture Research Series No. 9, Symposium on water management in rice field, Proceedings of a Symposium on Tropical Agriculture Researches, August 1975, Kitanakazuma, Japan.
- [24] Motomura, S., Seirayosakol, A. and Cholitkul, W., 1976: The changes in some physical and chemical properties of paddy soils under water management. Pages 101—115 in Tropical Agriculture Research Series No. 9, Symposium on water management in rice field, Proceedings of a Symposium on Tropical Agriculture Researches, August 1975, Kitanakazuma, Japan.
- [25] Pande, H. K., 1976: Water management practices and rice cultivation in India. Pages 231—249 in Tropical Agriculture Research Series No. 9, Symposium on water management in rice field. Proceedings of a Symposium on Tropical Agriculture Researches, August 1975, Kitanakazuma, Japan.
- [26] Xiao Ze-hong, 1981: Principal types of low yield paddy soil in China. Pages 151—159 in Institute of Soil Science, Academia Sinica, ed. Proceedings of Symposium on Paddy Soil. Science Press, Beijing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [27] Xi Zhen-bang, 1981: On the tendency of organic matter accumulation in paddy soil under triple cropping system in suburbs of Shanghai. Pages 502—508 in Institute of Soil Science, Academia Sinica, ed. Proceedings of Symposium on Paddy Soil. Science Press, Beijing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [28] Wickham, T. H. and Singh, V. P., 1978: Water movement through wet soils. Pages 337—358 in Soils and Rice. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.

## DRAINAGE OF PADDY SOILS AND ITS SIGNIFICANCE

Cheng Yunsheng

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

In China the paddy yield per unit area varies from 4—5 times between the lowest and the highest. In order to improve low-yield paddy soils, promote their fertility and increase the rice yield, it is primarily necessary to work out a proper drainage project in paddy field and to lower the ground water table so as to fundamentally improve the aeration condition in the root-layer of paddy soil.

The higher content of organic matter in paddy soil is related to the poor water regime, having nothing to do with the fertility level. The effect of soil organic matter on the improvement of physical properties of paddy soil is conditional. For the clayey soils of low-yield and those located in lowland, only by ameliorating their poor water regime can the organic matter be brought into full play. For the well-drained paddy soils, the effect of organic matter on physical properties of the soil is remarkable.

The mechanical properties of rice-planting soil may be roughly reflected on the soil hardness. In the earlier growing stage of rice plant, the soil is preferably both puddly and soft, while it should be compact and hard in the later stage so that a high yield might be ensured.

Water percolation rate in paddy soil is important for rice growth. The optimum percolation rate for high fertility paddy soils is in the range of 7—20 mm per day. For the over-damp and clayey soils, it is of vital importance to control and regulate the percolation rate of soil water. Mole or tile drainage is effective method to speed up percolation rate in the soil.

The periodical drainage of paddy soil helps improve greatly the aeration condition of soil and is favorable for the rice yield. Field drainage should be conducted in case the soil is puddly and the rice growth is excessive. Generally, 10—20% in yield increase of rice can be obtained through this measure.

Among various ways for field drainage, the best is the tile drainage, next comes the mole drainage and still next come the open ditches and surface drainage. The depth and spacing of mole or tile drains vary with the soil texture. The depth for mole drain ranges from 0.6 to 0.8 m, with a spacing of 4—5 and 2—4 m for loamy soil and clayey soil respectively, while the depth of tile drain is 1.0, 1.0—1.2 or 1.1—1.2 m, with a spacing of 20, 15 or 6—10 m for sandy soil, loamy soil and clayey soil respectively.