

# 水稻耕制中的土水管理\*

赵其国

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

世界水稻总面积1.45亿亩,总产量4.68亿吨,其中亚洲分别占89.6%及91.6%。水稻耕制可分为双季稻(二熟或三熟)及单季稻(一熟或二熟)两种。随着植稻面积扩大及耕制改变,水稻耕制中的土水管理问题日趋突出,其中主要表现为土壤物理性质改善,水分的合理灌溉及土壤养分协调三个方面。水稻耕种中,存在耕层粘闭与犁底层渗漏两大问题,解决途径在于推行水稻少耕、免耕、水旱轮作及增施粗有机质。稻田水分管理在灌溉方面的经验是,按土壤条件与水稻需水特点,采用浅、深、润、晒等不同方法;在排水方面,按中国的经验,采用暗管与鼠穴排水效果甚好。土壤养分供应与化肥施用水平是影响水稻高产的重要因素,其中首要的是氮素,其次是磷,而钾素缺乏也有增加趋势。防止氮肥损失及提高氮素利用率,是国际关注的问题。从当前已有的经验看,在水稻氮肥剂型,穴施大粒氮肥,分次与排干施用尿素,氮肥添加生物活动性抑制剂及长效氮肥等利用方面,均取得不少效果。当前,有机肥及有机废弃物的利用与磷、钾肥、微肥等的配合施用,也是解决水稻合理施肥的重要途径。

总之,水稻耕制中土水管理体系是个复杂问题,它不仅受耕作制度、土壤条件,而且受生产及管理水平的影 响。其中不少问题尚有待今后进一步研究解决。

世界水稻种植面积仅次于小麦,其总产量居世界农作物之首位,水稻土是水稻种植的基础,它的形成与水稻土的栽培、管理密切相关。近些年来,随着水稻面积的扩大,水稻耕制的发展,水稻在不同耕制下的土水管理问题,越来越引起人们关注。本文拟就世界,特别是中国水稻种植,水稻土的类型、分布与不同水稻耕制下的土水管理经验及问题进行论述。

## 一、世界水稻种植和生产概论

在世界上,水稻广泛栽培于北纬 $55^{\circ}$ →南纬 $44^{\circ}$ 之间,据联合国粮农组织(FAO)统计(1985—1987),世界种稻总面积为1.45亿亩,其中89.6%分布在亚洲,除少量旱稻外,水稻占87%(包括灌溉稻和不同淹水深度的雨养稻)。全世界稻谷总产量为457,500,000吨,其中亚洲占91.6%,亚洲稻谷的平均单产为3.3吨/公顷,略高于世界平均值(3.2吨/公顷),其中,日本单产在亚洲最高,泰国最低。水稻单产的高低,受多种因素的制约,但土、水管理水平是重要因素。

\* 本文曾在1990年第14届国际土壤学会上宣读。本文在编写中,承蒙姚贤良、朱兆良、徐琪、龚子同同志提供资料,特致谢意。

中国水稻播种面积为 33,200,000 公顷, 占世界总面积 22.6%, 占全国耕地面积 1/4, 为亚洲第二位, 全国水稻集中分布于秦岭—淮河一线以南, 水稻栽培历史达七千多年, 稻谷产量占全国粮食总产 44%, 1987 年单产每亩 362.7 公斤/亩, 超过世界平均水平。

印度是世界水稻种植第一大国, 面积为 41,000,000 公顷, 其中以比哈尔邦面积最大, 其次是奥里萨邦、中央邦、北方邦等, 上述各邦占全国水稻 90% 以上。

日本水稻有 2,300,000 公顷, 占全国农业土壤一半以上, 主要分布于东北、北陆、山阴和北九洲的日本海沿岸各县。

孟加拉国水稻土主要分布于泛滥平原区, 占全国土壤 80%。

缅甸水稻遍及全国, 水稻土面积 4,718,000 公顷, 分布在上缅甸、下缅甸和三角洲三个稻区, 仅有 5% 为灌溉稻, 大多为雨养稻。

泰国水稻土有 1,000,000 公顷, 占耕地 63.1%, 主要集中于中部湄南河平原及东北高原的台地和冲积平原上。

印度尼西亚有 9,889,000 公顷, 多数分布于海拔 500 米以下的平地 and 丘陵, 主要集中在爪哇岛, 巴厘岛西及北苏门答腊岛一带。

菲律宾水稻有 3,426,000 公顷, 其中旱地稻 330,000 公顷, 湿地稻 2,260,000 公顷, 60% 分布于吕宋岛, 25% 分布于棉兰岛, 15% 在米沙鄢群岛。

巴基斯坦、伊朗、埃及和阿富汗等国, 由于气候干旱或半干旱, 水稻土以盐土为主, 需水灌溉, 产量低者如巴基斯坦为 1.8 吨/公顷, 高产如埃及为 5.6 吨/公顷。

欧洲如意大利、法国、希腊、匈牙利、罗马尼亚、捷克斯洛伐克等国均有小面积水稻种植, 总面积共 380,000 公顷。

美国水稻土主要位于南部密西西比河谷及西部加利福尼亚州河谷区, 全国约 972,000 公顷, 占作物面积 1% 以下。

此外, 苏联的格鲁吉亚和远东季风区, 澳大利亚的墨索河下游等地均有水稻土分布<sup>[4]</sup>。

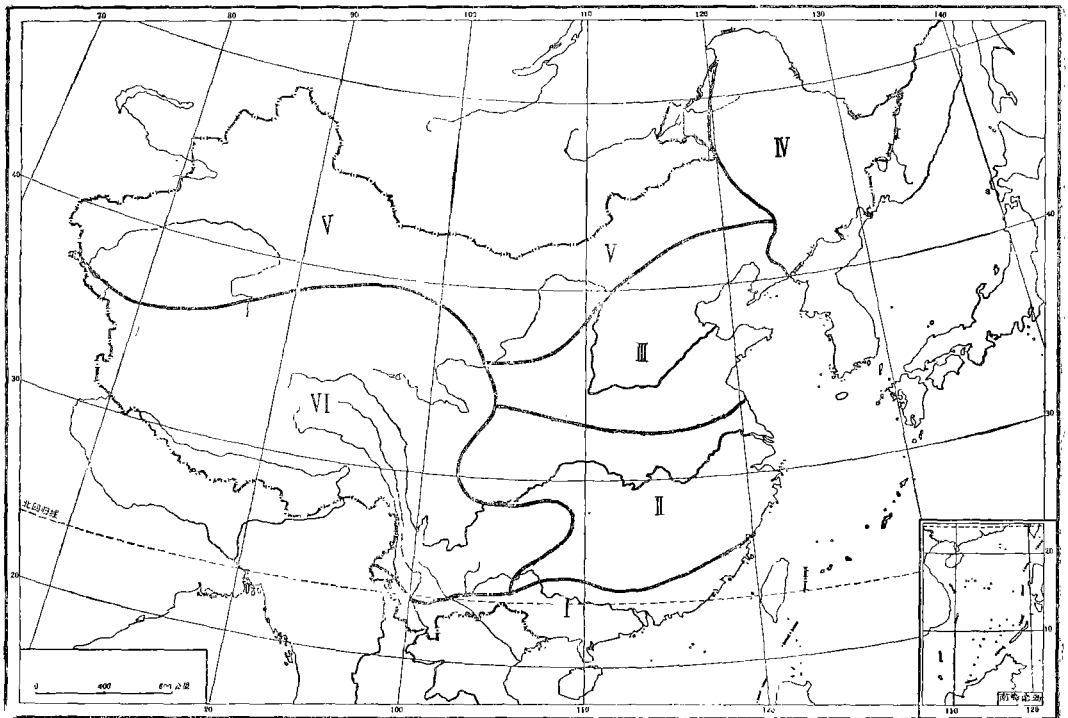
## 二、中国稻作制分区及其土水特点

一般来讲, 水稻的耕作决定于热量条件、以  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温而言,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $2000^{\circ}\text{C}$  为单季稻的北界,  $5300^{\circ}\text{C}$  为双季稻的适宜界限, 而  $7000^{\circ}\text{C}$  可满足水稻三熟。中国热量分布受纬度与地形影响, 呈不规则的由南而北递减。从耕制而言, 中国稻区可分为六区(图 1)。

1. 华南湿热双季稻区: 包括南岭以南地区, 该区稻作期日均温  $22-26^{\circ}\text{C}$ , 水稻生长期  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温  $6,500-8,000^{\circ}\text{C}$ , 日照  $1400-2200$  小时, 光合辐射日总量为  $586.6-712.3$  焦耳/ $\text{cm}^2$ , 雨量  $1100-2200\text{mm}$ , 稻田灌溉水量早稻  $300-570\text{mm}$ , 晚稻  $380-700\text{mm}$ 。

稻田土壤为沼泽土, 冲积性草甸土与红壤、砖红壤与赤红壤发育而成的各类水稻土。

耕作制较为复杂, 双季稻比例达 60% 以上, 轮作复种形式多样。大致可分为: 双季稻—小麦、豌豆、油菜、绿肥与甘薯等三熟制; 在山区有单季稻—甘薯、花生、大豆、小麦复种的两熟制或三熟制; 平原地区尚有水稻—甘蔗轮作的水旱轮作制。



统一书号 12015·1493  
定价 0.33 元

印数 00001 - 10000 1986 年 7 月第 1 版 1986 年 7 月北京第 1 次印刷

地图出版社编制印刷出版发行

- I. 华南湿热双季稻区 II. 华中湿润单、双季稻区 III. 华北半湿润单季稻区 IV. 东北半湿润早熟单季稻区 V. 西北干燥单季稻区 VI. 西南高原湿润单季稻区

图 1 中国稻作区 (示意图)

Fig.1 Map of the regionization of rice in China

稻田占全国的 17.3%，稻谷总产居全国第二位，占全国稻谷总产的 15.8%。

II. 华中湿润单、双季稻区：包括淮河、秦岭以南到南岭之间的广大地区。水稻生长期平均气温 21—24℃， $\geq 10^\circ\text{C}$  积温为 4500—6500℃，日照时数 900—1100 小时，光合辐射日总量为 586.6—796.1 焦耳/cm<sup>2</sup>，降水量为 750—1300mm，稻田需水量早、中、晚稻分别为 360—780，180—580，350—870mm。

稻田土壤为沼泽土，冲积性草甸土与红壤、黄壤、紫色土与黄棕壤发育的各类水稻土。

耕作制带有过渡特点，南部为双季稻为主的两熟制与三熟制，北部为单季稻三麦等复种的两熟制。其轮作方式是：绿肥、双季稻，三麦(油菜)双季稻或三麦大豆(玉米)稻等形式三熟制，以及三麦油菜稻为主的两熟制。

该区系稻田当中区，占全国稻田 65.7%，稻谷占全国 66.2%。

III. 华北半湿润单季稻区：位秦岭、淮河以北长城以南广大地区。该区生长期日均温为 19.23℃， $\geq 10^\circ\text{C}$  积温为 3500—4500℃，日照时数为 1200—1600 小时，日光合辐射量为 754.2—1047.5 焦耳/cm<sup>2</sup>，降水量 400—800mm。灌溉水量 840—2280mm。

稻田土壤为沼泽土、冲积性草甸土与盐渍土发育的各种水稻土。

耕作制度较为单一,除淮河北侧为稻麦两熟外,多为一季稻区。其轮作方式有,稻麦(油菜)两熟制,绿肥、稻、麦、稻,冬闲、稻等方式一年一熟制。

稻田面积占全国 8.1%,稻谷占全国 8.6%,随着水利条件的改善,稻田面积不断扩大。

IV. 东北半湿润早熟单季稻区:包括长城以北与大兴安岭以东广大地区。水稻生长期日均温为 17—21℃,≥10℃ 积温 2500—3500℃,日照时数 1000—1250 小时,日光合辐射量为 879.9—1005.6 焦耳/cm<sup>2</sup>,降水量 300—600mm,灌溉水量 550—1500mm。

稻田土壤主要是沼泽土、草甸土、白浆土、黑土与部分盐渍土(碱土、盐土)。

耕作制为一年一季稻,或者水稻与旱作物轮作。近年来旱改水进展迅速。稻田占全国 1.9%,稻谷占 2.2%。

V. 西北干燥单季稻区:包括大兴安岭以西与青藏高原以北的广大干旱半干旱区。稻作生长期日均温 18—22℃,≥10℃ 积温 2200—4000℃,日照时数为 1200—1600 小时,日光合辐射量 921.8—1173.2 焦耳/cm<sup>2</sup>,降水量 30—350mm,灌溉水量为 900—2000 mm。

稻田土壤为沼泽土、草甸土与盐土发育的水稻土。

耕作制亦为一年一熟,多与旱作物轮作,方式有一熟稻或稻、麦、旱作物轮作,个别地区可稻麦两熟。水源不足限制稻作发展。占全国稻田 0.5%,稻谷占 0.4%。

VI. 西南高原湿润单季稻区:包括云、贵、川、西与青藏地区。由于地形高拔,气候垂直分异明显,水稻种植区多在 2700 米以下的谷地与盆地,≥10℃ 积温为 3000—6500℃,光照时数为 950—1400 小时,日光合辐射 544.7—712.3 焦耳/cm<sup>2</sup>,降水量差异更大,为 350—2000mm,灌溉水量为 450—940mm。

稻田土壤多为红壤、紫色土发育的水稻土。冷浸田与冬沤田比例大。

耕作制多以单季稻为主。轮作方式有稻—麦(油、豆);稻—绿肥等。稻田占全国 6.5%,稻谷占 6.8%。

### 三、稻作制中的土水管理

世界稻田分布广泛,稻作制复杂多样,因而稻田土水管理体系随复种作物与产量水平而异。研究表明,水稻耕作中的土水管理,特别是土壤物理性质的改善,水分的合理灌溉,土壤养分的协调,是决定水稻高产的关键因素<sup>[2]</sup>。

#### (一) 土壤物理性质的改善

近些年来,随着水稻复种增加与耕制改变,水稻土壤管理中,有两个土壤物理性质问题极为突出<sup>[3]</sup>。首先,关于耕层粘闭(Puddling)问题,过去东南亚各国常采用带水耕耙水稻耕层的方法,使土壤结构破坏,防止水分与养分损失。对此耕作措施,一直存在着争议,按中国太湖地区高产水稻土的研究表明,自 1965 年水稻改一年两熟为一年三熟后,一直采用耕耙粘闭措施,加强了水稻淹水时期,直到 1977 年对土壤结构进行测定,出现水稻土中 1—0.05mm 的团聚体减少了一半(见表 1),成为改制后土壤变板,稻麦产量不稳的原因之一。这种情况表明,粘闭对水稻后季作物的生长极为不利。

表 1 太湖地区改制后水稻土微团聚体变化

Table 1 Variation of microaggregates in paddy soils of the Taihu region in China after changing from two crops to three crops a year

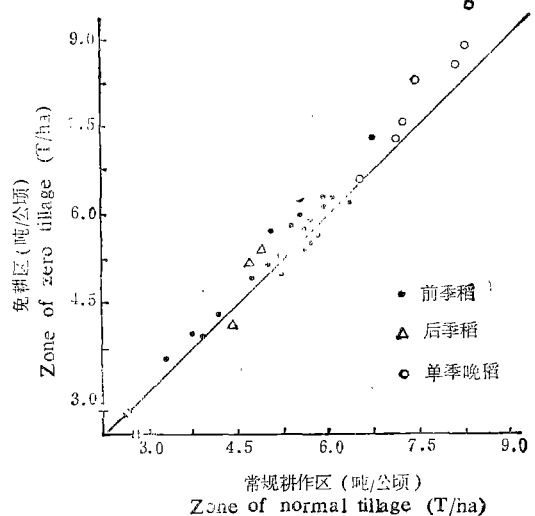
采样时间 Sampling time	土壤颗粒(%) Soil particles (%)		
	1—0.05mm	0.01mm	0.001mm
	微团聚体 Microaggregates		
1965 春季	24.3	21.9	1.4
1977 春季	12.8	31.2	4.5
差异	-11.5	9.3	3.1
	机械组成 Mechanical element		
1965 春季	3.3	52.8	24.8
1977 春季	2.1	53.3	24.8
差异	-1.2NS	0.5	0

第二个问题是犁底层的渗漉。一般认为,水稻土犁底层的适量渗漉,可调节水稻根际化学环境,并可排除对根系有毒物质丁酸(butyric acid)的影响,但近年来由于扩种旱作,犁底层容重变大,还原性作用增强,对旱作根系生长不利,因而人们对犁底层的作用又开始重新认识。各国对植稻期间水稻土犁底层的优化渗漉量有不同结果(见表2),但大多认为,保持一定渗漉量,是对水稻生长有利的。但是,菲律宾国际水稻研究所曾进行了长期(1968—1982年)的试验,表明虽然试验田的日渗漉量不到1mm,但每年三季水稻产量仍可达12吨/公顷。由此可见,优化渗漉量应随土壤有机质含量和各地生物气候不同而异,不可能只有一个固定指标,而且只有在水稻产量较高时(<8吨/公顷),水稻犁底层渗漉量的多少才显得重要<sup>[4]</sup>。

根据上述,改善土壤物理性质的主要措施是:

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年代联合国粮农组织(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。中国70年代末期开始在太湖稻田上也进行了免耕试验,其结果也表明了不显著的趋势(图2)。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3),这种耕作制以麦—豆—稻的效果最



注: 资料由赵诚斋提供

图 2 免耕和常规耕作水稻产量比值

Fig. 2 Yield ratio of rice on zero tillage and normal tillage

表 2 植稻期间水稻土的最佳渗漏量

Table 2 Optimum percolation rate of paddy soils during rice growing period

渗漏量 Percolation rate (mm/day)	资料来源 Data source
10—20	Greenland, 1984. Adaptable to tropical zone (适于热带)
15—25	Nakagawa, Japan (日本)
1—5	Daštana, 1965
5—20	Yahata, 1976. Japan (日本)
9—15	Yang Guozhu et al., 1961. Adaptable to Jiangsu Province, China (适于中国江苏)
7—20	Soils of China, 1978. China (中国土壤, 1978, 中国)

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,有利于水稻收后旱作地的通气孔隙增多,易于整地作业。

第三,施加粗有机质。采用粗有机质回田是改善粘闭状况的有效措施,中国在太湖 5

表 3 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,三年)

Table 3 Effect of different rotation systems on the physical properties of paddy soils and economic returns (3-year field experiment)

轮作制 Rotation system	>200 $\mu$ m 通气孔隙度 (%) >200 $\mu$ m aeration porosity	<5 $\mu$ m 持水 孔隙度 (%) <5 $\mu$ m water holding porosity	曲饱和和含水量 到烘干土的收 缩率(%) Shrinkage rate of soils from saturated to over-dried	破裂系数 Modulus of rupture (MPa)	经济效益 (每投 1 元的收入) Economic return (Returns per dollar spent)
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
麦—豆—稻	15.1	35.0	11.3	0.33	2.18

表 4 施用有机物料后脱水时土壤物理性质的变化(试验达 5 年)<sup>1)</sup>

Table 4 Changes of physical properties of soil during drying process after organic material application (five-year experiment)

处 理 Treatment	相对含水量 (%) Relative water <sup>2)</sup> content (%)	容 重 (g/cm <sup>3</sup> ) Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	>200 $\mu$ m 通气孔隙度 (%) >200 $\mu$ m aeration porosity (%)	总孔隙度 (%) Total porosity (%)	穿透阻力 (kg/cm <sup>2</sup> ) Penetration resistance (kg/cm <sup>2</sup> )
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) 供试土壤饱和水分时的含水量为 100;

2) 供试土壤为黄棕壤,粘粒含 30%。

年的试验表明(表 4), 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, 这就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<sup>[3]</sup>。

## (二) 水稻的合理灌溉

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<sup>[6]</sup>。

稻田水稻管理有多种目的: 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, 稻田灌水管理有以下几种(表 5)。

表 5 灌溉技术对水稻产量的影响  
Table 5 Effect of irrigation techniques on rice yield

年 份 Year	处 理 Treatment	灌溉定额 Irrigation norm		产 量 Rice yield	
		(m <sup>3</sup> /ha)	(%)	(kg/ha)	(%)
1975	干干湿湿	8301	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

一是浅、润、晒灌溉型: 这种灌溉方式主要用于灌排系统完善的肥沃水稻土区。具体程序是: 插秧、返青、分蘖期进行浅水灌, 壮苗期进行放水晒田, 孕穗期灌深水, 齐穗后保持湿润, 黄熟期即断水, 或者在返青、孕穗、出穗三个生育期保持水层外, 其余时期以湿润灌溉为主。

二是浅、深、浅与晒灌溉型: 这种灌溉方式适用于南北方有水源保证的平原稻区。除孕穗期加深水层外, 一般为浅水灌溉, 根据生育期特点, 通过晒田达到控制分蘖、壮秆固根、齐穗的目的。

三是保持水层灌溉型: 这种灌溉方式适于丘陵山区与盐碱土区。前者水源不足, 后者防止返盐。灌溉方式是在整个生育期保持水层, 也可根据水稻需水规律, 先浅后深, 浅、深、浅相结合。

四是干湿灌溉型: 这种灌溉方式适用于冲垅田与圩区。由于地下水位高, 养分释放慢, 且有毒害物质, 通过水稻返青后的间歇灌溉, 维持土壤干干湿湿, 达到调节稻田水肥气热、更新土壤环境的目的。

五是湿润灌溉型: 灌溉方式是保持土壤湿润。随着地下水灌溉的发展, 湿润灌溉已在推行中, 并取得很好的效果, 这对水稻高产与节约灌溉水量十分重要。

除上述水分灌溉管理外, 由于平原稻区, 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 drainge) 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不同而异, 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 30cm 的浅明沟, 这个措施可使旱作三麦(大麦、小麦、裸麦)增产 15—30%, 水稻增产 10% 左右。

此外, 在珠江三角洲也广泛采用鼠穴排水。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、晚稻可分别增产 20.39 和 12.22% (表 6)。

### (三) 土壤养分的协调

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(见表 7)。实践表明, 在水稻养分中, 氮素是普遍存在的限制因素, 其次是磷, 同时随着高产品种的推广和产量提高, 对钾肥有反应的种稻面积也将趋于增加。表 8 列出了亚太地区各国已报道的养分缺乏情况(氮素除外), 表中带“+”号的元素表示该国已有缺乏该元素的报道。在微量元素中, 锌可能是常见或缺乏的一种元素, 此外, 硫

表 6 珠江三角洲水稻土鼠穴排水的增产

Table 6 Yield increment of rice by mole drainage in the paddy soils of the Zhujiang Delta

处 理 Treatment	渗漏水中溶解气体 Dissolved gas in percolating water (mg/l)		根 量 Roots (%)		产 量 Yield (t/ha)			
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> 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 7 世界主要稻米生产国的化肥施用水平(1985)\*

Table 7 Chemical fertilizer application levels of main rice-producing countries in the world (1985)\*

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

\* FAO, Fertilizer Yearbook, 1986.



表 8 亚太地区稻田土壤主要养分缺乏的报道汇总表(除氮外)  
Table 8 Reported deficiency of main nutrients (except N) in rice fields in Asia-Pacific region\*

地 区 Region	P	S	Zn	Si	K	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cu	Fe	Mn
澳洲 Australia	+	+	+						+	
孟加拉 Bangladesh	+	+	+		+					
缅甸 Burma		+								
柬埔寨 Cambodia	+									
印度 India	+	+	+		+	+	+	+	+	+
印尼 Indonesia	+	+	+		+			+		
日本 Japan	+	+	+	+	+				+	
南朝鲜 South Korea	+		+	+	+	+	+			
尼泊尔 Nepal	+				+					
巴基斯坦 Pakistan			+							
菲律宾 Philippines	+	+	+		+					
斯里兰卡 Sri Lanka	+				+	+				
泰国 Thailand	+	+	+		+	+	+			
中国 China Mainland	+	+	+	+	+	+	+	+		
台湾 China Taiwan	+	+	+	+	+	+				

+ 表示有该元素缺乏的报道。

++ 表示施石灰有效,其中包括 Ca 或 Mg 或两者;

\* 资料来源: (1) U. S. Gones (IRRI, 1982), (2) J. R. Willett (1988), (3) Wen Qixiao (1988)。

的缺乏有增加趋势(表 8)。应当指出,随着高产矮秆水稻品种的育成和推广,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。

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 <sup>15</sup>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<sup>[5]</sup>。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<sup>[6]</sup>。首先, 在改进水稻氮肥的剂型方面, 通过研究, 提出了大粒氮肥(大粒尿素等)的穴深施法, 在大多数情况下, 都表现出比普通尿素习惯用法明显增产, 氮素损失可降至 20% 以下, 而习惯用法在 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, 关于水稻氮肥用量的研究, 主要是通过水稻多点的田间氮肥用量试验网, 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, 这是一个简便易行的方法, 在大多数情况下可获得满意的效果。同时, 在减少氮素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, 也可在现行施用方法下应用, 但已有的研究表明, 硝化抑制剂大多不能明显减少氮素损失, 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。

除了上述水稻氮肥利用外, 还必需重视水稻种植中有机肥料及有机废弃物的利用, 这是因为这种利用既有利于节省化肥, 从而减少能量与资源的消耗, 而且还有利于土壤肥力

的保持。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, $P_2O_5$ 332万吨, $K_2O$ 751万吨,占收获物中养分量的比例分别是43%、67%和65%。目前,通过水稻轮作,施入土中的有机肥有草塘泥、厩肥秆秆还田,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。

此外,在水稻耕制中,还有以下几种合理施肥方式可以采用<sup>[8]</sup>。

1. 重施基肥,早施攻蘖肥。此法用于双季稻,因生长期短,肥料集中前期有利于早熟高产。

2. 前重、中轻、后补。即前期重施基肥,中期限制追施氮肥,后期施用粒肥,这种方法适用生长期长的水稻品种。

3. 前、中、后期均匀施肥。即缩小三个时期氮肥分配比例,达到分蘖足,成穗率高,千粒重大的目的。

在低肥土壤或施肥水平低的地区,为了获得高产,在栽足基本苗前提下,减少前期用氮量,只在中期重施追肥,适当施用粒肥,也有很好效果。

水稻养分与施肥制度十分复杂,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,不少问题尚待今后深入研究。

## 四、结 论

水稻系高产作物,与旱作相比具有较大增产潜力;在水稻耕制中,通过培肥土壤,建立合理施肥与灌溉制度,对提高水稻产量,进一步解决世界人口与粮食矛盾,有重大意义。

首先,在培肥土壤与改良低产水稻土上,世界上尚有5.6亿公顷湿地可耕水稻开垦利用。现有稻田除亚洲个别国家与地区复种指数较高外,其余均较低。在此情况下,改良土壤、增加复种、建立合理耕制,水稻增产潜力可大力发挥。

其次,水稻合理施肥研究,已取得较大成就,但在多熟制条件下,如何合理施肥,特别是关于有机与无机肥的配合施用问题,是值得深入研究的重要问题。

关于水稻耕制下的合理灌溉,是提高稻田土壤增产潜力与节约用水的重要环节,在多熟制条件下尤其重要,但究竟采用何种灌排体系才能保证水稻生长与防治涝渍害,是一项需要综合学科共同研究解决的问题。

总之,水稻耕制中,土水管理体系是一个复杂问题。它不仅受耕作制度、土壤条件,而且受生产及管理水平的影 响,其中不少问题,有待今后进一步研究解决。

## 参 考 文 献

- [1] 朱鹤健编,1985: 世界土壤地理。高等教育出版社。
- [2] 熊毅等,1982: 耕作制对土壤肥力的影响。土壤学报,第17卷2期,101—119页。
- [3] 姚贤良,1988: 关于耕作制中的土壤物理问题。土壤学进展,第5期,1—16页。
- [4] 姚贤良、于德芬,1985: 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。
- [5] De Datta S. K., 1987: Advances in soil fertility research and nitrogen fertilizer management for lowland rice. pp 270—41 in "Efficiency, of nitrogen fertilizer for rice". IRRI.

- [6] Kyuma K., 1972: Numerical classification of the climate of south and southeast Asia. "Southeast Asia Study" 9(4): 502—521.
- [7] Zhu Z. L., 1988: Efficiency of Vrea in Crop Production in China. pp 117—132 in Proc. Inter. Symp. on Vrea technology and Utilization, Malaysian society of Soil Science.
- [8] Zhu Z. L., and Xi Z. B., 1989: Recycling of phosphorus from crop and animal wastes in China. 6—10. march IRRI.

## SOIL AND WATER MANAGEMENT IN FARMING SYSTEMS WITH FLOODED RICE

Zhao Qiguo

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

### Summary

The world has a total rice-growing area of 9.7 million hectares and a total rice production of 468 million tons, of which Asia constitutes 89.6% and 91.6% respectively. In rice production, there are mainly two cropping systems, i.e., double-cropping rice system (2 or 3 crops a year) and single-cropping rice system (1 or 2 crops a year). With expansion of the rice growing area and changing of the cropping system, the problem of soil and water management in the rice-cropping system is becoming more and more prominent which is chiefly reflected in the following 3 aspects: improvement of soil physical properties, rationalization of irrigation and drainage, and coordination of soil nutrients. In rice cultivation, the puddling of cultivated layer and the percolating of plough pan are 2 major problems, to which solutions lie in the adoption of minimum tillage, non-tillage, paddy-upland crop rotation and application of coarser organic manures. In the water management and irrigation of paddy fields, different irrigation methods such as shallow irrigation, deep irrigation, moisting irrigation and sunning are adopted, in light of the soil conditions and water requirement of rice.

In the aspect of drainage, China's experience proves that underground pipes and mole holes can be used for drainage with good efficiency. Soil nutrient supply and fertilizer application rate are important factors affecting high yield of rice. Nitrogen is the paramount element and then comes phosphorus. The problem of potassium deficiency tends to be more serious. Reducing N loss and increasing N utilization rate are topics of international attention. Reviewing of the experience so far obtained reveals that in rice cultivation, new forms of nitrogen fertilizer, pit application of larger-granular N fertilizer, split application, applying urea in paddy fields after drainage, using biological activity inhibitors in application of N fertilizer and long-lasting N fertilizer all have some effect. Recently, organic manures and organic wastes are used in combination with P, K and trace-element fertilizers, which is also an important approach to rational fertilization in rice cultivation.

In general, soil and water management system in rice cultivation is a very complicated issue which is subject not only to the influence of cropping systems and soil conditions but also to that of production and management levels. However, a lot of problems remain to be further studied by scientists of related disciplines.