

# 水分管理对土壤性状的影响及其意义

中国科学院土壤研究所常熟工作组\*

水稻栽培在我国具有悠久的历史，农民在栽培和田间管理方面也积累了极其丰富的经验，水分管理就是其中之一。所谓水分管理就是通过灌排调节水稻的土壤水分状况，并以影响土壤的其他性状从而控制水稻的生长发育，达到水稻高产。

我国各地农民都有一套适合当地具体条件的水分管理方法<sup>[1-7]</sup>，如全国劳模陈永康<sup>[4]</sup>同志的“三黄三黑”，就是一套极为严格的水浆管理方法，用以控制和调节水稻的生长发育，达到高产。再如湖南农民更把水稻整个生长期的水分管理方法以歌谣形式生动地反映出来。

整地整地巴香水，栽秧灌个提脚水，  
想秧发兜排一水，控制发兜灌深水，  
施肥扯草眨眨眼，秧棵太肥脱一水，  
孕穗扬花三寸水，谷到黄头挖千水。

为了总结这方面的丰富经验，了解不同的水分管理对土壤性质的影响，以及水分管理在培养土壤肥力上的作用，我所于1959年同植物生理研究所、常熟县农田水利试验站合作，在常熟白茆人民公社进行了不同灌溉方式和烤田的试验。本文就根据这一季水稻至开花期为止所得的材料写成。

## 试验处理与方法

试验田小区面积为0.32亩，没有重复。土壤是鱗血烏山土，肥力状况如表1。

表1 试验田鱗血烏山土肥力分析  
(土壤所分析室分析)

层 次	项 目	pH	全 氮 (%)	有机质 (%)	水解性氮 (%)	代换量 (毫克当量/100克土)	速效钾 (毫克/100克土)	速效磷 (毫克/100克土)
0—15 厘米		8.0	0.156	2.84	0.0098	17.09	13.1	—
15—30 厘米		8.01	0.151	2.92	—	16.26	13.0	14.85
30—50 厘米		8.40	0.081	1.40	0.0076	14.40	13.5	—

前作为小麦，并深耕1尺，栽秧前耕深7寸左右，每小区施草塘泥42担作基肥。于6月21日栽秧，秧龄32天，品种是853，密度为3×5方，每穴约7棵左右。试验处理如下：

- I 深水灌溉(不烤田)      II 干干湿湿(烤田)
- III 浅水勤灌(不烤田)    IV 浅水勤灌(烤田)

\* 参加工作的人员：杨国治、王敬华、朱兆良、叶世豫、丁昌璞。

### V 湿润灌溉(烤田)      VI 湿润灌溉(不烤田)。

7月3日开始分蘖,8月2日开始拔节,8月3日上午排水烤田,14日上午复水,但12日下午降雨4.8毫米。9月6日开始抽穗扬花。

于7月9日施过磷酸钙每小区3斤,尿素2斤;8月15日除深水灌溉处理施2斤硫酸铵外,其他几个处理各为4斤。

灌溉水是利用当地的内河水。为了防止漏水,所以于栽秧前在各小区之间筑了较牢固的田埂。作埂时其周围的土壤曾搬动过,再加上去年深耕整地质量不佳,故处理间及一个处理内之水稻生长不甚均一。

在水稻生长期观测的项目及方法如下:

1. 电导:利用带风音器的6伏直流电小型惠氏电桥测定耕层土壤的电阻,然后根据下式换算为25°C的电导率:

$$K_t = K_{t_0} [1 + x(t_0 - t)]$$

$t_0 = 25^\circ\text{C}$ 。t为被测物的温度。 $x = 2\%$ 。 $K_{t_0}$ 为25°C时被测物的电导率。 $K_t$ 为被测物在t°C时的电导率,它等于所测得电阻的倒数乘以电极常数,即 $\frac{1}{R} \times \frac{l}{S}$ 。本试验所用电极的常数在25°C时为0.29064。

2. pH:用雷磁电位计及玻璃电极测得。

3. 氧化还原电位:用上述电位计及白金和饱和甘汞电极测定。

4. 代换性还原物质:用湿土以pH 2.5、2.5%的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 溶液提取之。

(1) 亚铁:用 $\alpha$ -a联氮苯显色后进行光电比色。

(2) 亚锰:用 $\text{KIO}_4$ 氧化显色后进行光电比色。

5. 水溶性硅:以10%的钼酸铵溶液来显色,与以铬酸钾配制的标准液用目测来比色<sup>[8]</sup>。

6. 利用排水收集器采集田中的渗漏水,同时也取灌溉水。除作了上述的分析项目外,还作了:

(1) 水中溶解氧:利用在硷性溶液中低价的氢氧化锰能被氧化成高价锰化物,后者氧化盐酸放出氯气。在碘化钾存在时氯取代出等当量的碘,用硫代硫酸钠溶液来滴定碘,以淀粉作指示剂,实际上是碘量法。但因渗漏水中有还原性物质如亚铁等,故先用溴水氧化,然后用水杨酸溶液使与多余的溴水化合,再以碘量法定氧<sup>[9,10]</sup>。

(2) 水中溶解的二氧化碳:用碳酸钠溶液滴至酚酞红为止。

(3) 水的硷度:以标准酸滴之。

7. 耕层土壤紧实度(硬度):用木制水田土壤耕层硬度测定仪测定,主要是用一定的重力打击,依其向下伸入耕层的深度来衡量。此外报告中还利用了合作单位观测的部分有关资料。

## 结果与讨论

水稻土在渍水条件下与旱地土壤相比在本质上是不同的,有其极特殊的性状,它是水稻生活居住的必需环境。但由于灌溉方式及水稻各生育期田中水分状况的不同都能引起土壤理化生物等特性发生深刻的变化。作为水稻营养环境的这些变化必然会对它的生长

发育及其产量发生很大的影响。土壤理化生物特性的变化是互相制约的,密切相关的。对水稻的任何一个影响都是它们共同作用的结果。但为了方便起见,我们还是把它分别加以讨论。

由于在写本报告时水稻还未收割,所以这个讨论是极初步的。

### 一、不同灌溉方式对土壤性状及水稻生长发育的影响

在农民中通用的灌溉方式大体上有(1)深水灌溉,(2)浅水勤灌,(3)干干湿湿,(4)湿润灌溉等四种。这些方式对土壤性状及水稻生长发育都有其一定的作用。现就所得的初步材料来分别讨论。

(一) 不同灌溉方式对土壤水分状况的影响 灌溉试验表明虽然从水层较厚的深水灌溉到无水层的湿润灌溉,但它们对耕层土壤水分状况的影响没有什么差异,都是处于过饱和的状态,因此都缺少空气,可是各处理的耗水量则不等(表1)。

表1 不同灌溉方式的耗水量

代 号	处 理	耗 水 量		相 对 量 (%)
		7月4日至31日的累积耗水量		
I	深 水 灌 溉	623.7	毫米	232
II	干 干 湿 湿	430.9	毫米	160
III	浅 水 勤 灌	618.6	毫米	230
IV	浅 水 勤 灌	598.9	毫米	222
V	湿 润 灌 溉	269.5	毫米	100
VI	湿 润 灌 溉	268.1	毫米	100

由表1可见,耗水量大小的顺序是: I > III ≈ IV > II > V ≈ VI, 即水层加深耗水量增大。因各个处理其他条件基本相同,故可以认为它们因田面蒸发及植物蒸腾所耗水量可视为大体一致。这样耗水的大小完全是因渗漏量的多少所造成的。而这种渗漏速度的大小,似由田间水层厚薄引起的静水压大小所致。表1说明深水灌溉的渗漏水量较湿润灌溉大2倍之多,从节约用水来看,湿润灌溉似乎较好,但农民的经验证明适当的漏水则更为有利。虽然这方面尚缺资料予以说明,但不难想象渗漏量的大小将严重地影响土壤环境的更新。例如氧气的输送,养份及有毒物质的移动、淋失及其浓度的变化等都将受到渗漏速度的影响,从而也将影响到水稻土的肥力和水稻的生长发育。表2结果或多或少地说明了这一点。

表2 不同灌溉方式渗漏水的电导

处 理 项 目	电导率 $\Omega^{-1} \text{cm}^{-1} (25^\circ\text{C})$	相 对 比 较 (%)
深 水 灌 溉	$10.17 \times 10^{-4}$	100
浅 水 勤 灌	$14.95 \times 10^{-4}$	147
湿 润 灌 溉	$19.31 \times 10^{-4}$	190

由表2可见,电导率与渗漏量成反比。虽然我们尚缺乏渗漏水的干物质和绝对量的数据,但比较表1及表2的相对数值,电导率的差异并不是稀释之故,表明不同灌溉方式

为渗漏水所携带的干物质总量是不相等的。当然这种差异在土壤环境更新等方面的意义还待深入一步的研究。

(二)灌溉方式对耕层土壤温度状况的影响 不同灌溉方式造成了田面复盖水层厚薄不同,将大大地影响到热量的吸收传导和辐射,从而对耕层土壤温度发生影响,观测结果证明了这种影响是显著的。兹将9月25日至26日土温昼夜变化的观测结果列如表3。

表3 不同灌溉方式对耕层土壤温度(°C)变化的影响

项 目	处 理	气 温	深 水 灌 溉		干 干 湿 湿		浅 水 勤 灌		湿 润 灌 溉	
			5 厘米	15 厘米						
日 最 高 温 度		26.5	22.2	21.7	22.6	22.2	22.3	22.2	23.7	23.5
日 最 低 温 度		14.8	20.2	—	19.2	20.3	19.0	20.2	18.9	19.9
日 温 差		11.7	2.0	—	3.4	1.9	3.3	2.0	4.8	3.6

从表3可见,随水层的加深,耕层最高土温则渐减低,而最低温度则渐增,故水层加深,则耕层土温日温差小。可见水层阻碍热的传导,具有保温作用。

(三)各种灌溉方式对土壤氧化还原状况的影响 各种灌溉方式对土壤氧化还原状况的影响基本是一致的(见表4),没有什么明显的差异,(在测定的层次内)即使是在一般人所认为的湿润灌溉能有空气透入降低耕层的还原强度的小区中其耕层的电位也并不高,这也表明它仍缺少氧气。实际上通过灌溉水输入耕层的氧气深水灌溉比湿润处理要多2倍以上。这点也可能是深水处理耕层电位不特别低的原因之一。可见在耕层土壤水分饱和的条件下,不同的灌溉方式对土壤氧化还原状况所起的影响主要决定于灌溉水所带入氧气的多少。不但不同灌溉方式的电位没有什么差异,就是与电位密切相关的亚铁、亚锰亦是如此。

(四)灌溉方式对土壤耕层中离子总浓度的影响 电导率是土壤水中离子浓度的一个指标,与离子浓度成正相关。在通常情况下,它反映出土壤养分总浓度的大小,表5中水稻三个生长期的测定结果表明不同灌溉方式电导率或离子浓度大小的次序是湿润>干干湿湿>浅水>深水,与耗水量的大小(表1)成反相关,而与渗漏水的电导率(表2)呈正相关。再一次说明在不同灌溉方式下被淋失的离子数量不相等。何者对水稻生长发育最有利,尚待进一步研究。

(五)不同灌溉对水稻生长发育的影响 不同灌溉方式对土壤水分、氧化还原状况以及离子总浓度等影响已如上述,显然这一些影响将反映到植株的生长情况上。以下就是不同灌溉处理植株生长状况比较有显著差异的几点:

1. 秧苗返青以湿润灌溉为最慢。
2. 分蘖率以湿润灌溉最高,其他处理差异不明显。
3. 深水灌溉和浅水勤灌而不进行烤田的,在灌浆初期都发现了不同程度的倒伏现象。
4. 在有病虫害发生的情况下湿润灌溉与干干湿湿处理的较为严重。

显然,有关不同灌溉方式下的土壤性状和植株的生长状况,我们所掌握的资料还不多,因此它们之间内在联系目前尚难了解。

表 4 土 壤 分 析 结 果

结 层	项 果 目 次	水 分	pH 值	Eh <sub>mv</sub>	还原物质(毫克/100克土)		备 注	
					Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>		
I	3-10 厘米	67.0	7.17	51	88.0	10.6	(分节期7月14日测定) 深水灌溉	
	15	57.7	7.75	127	85.0	12.3		
	25	42.9	7.86	357	14.3	10.9		
	40	29.9	8.00	386	1.43	2.62		
	55	24.0	7.85	393	1.12	1.70		
II	3-10	60.4	7.20	167	—	—	干干湿湿 浅水勤灌	
IV	3-10	68.9	7.50	130	115.9	13.7		
	15	64.5	7.55	67	140.0	14.5		
	25	51.5	7.65	134	46.8	14.7		
	40	33.3	7.88	343	0.46	248		
	55	28.8	7.95	356	0.35	0.59	湿润灌溉	
V	3-10	72.6	7.40	158	—	—		
I	3-10	65.7	7.0	34	179.0	13.2		分节一拔节期,烤田前 7月30日测定
	15	60.2	7.3	17	188.0	20.4		
	25	22.1	7.7	198	10.4	10.2		
	40	26.5	7.8	345	0.56	3.5		
II	3-10	72.5	—	—	—	—		
	15	55.1	—	—	—	—		
IV	3-10	67.0	7.0	51	195.0	18.3		
	15	56.5	7.2	7	173.0	19.5		
	25	31.2	7.8	353	54.8	18.7		
	40	26.8	7.8	400	1.46	3.7		
V	3-10	79.5	7.2	61	235.0	22.9		
	15	53.7	7.6	37	183.0	22.8		
	25	28.9	7.8	415	36.5	14.6		
	40	23.7	7.8	426	0.98	6.1		
I	3-10	63.8	7.2	8	156.60	13.95		孕穗一抽穗,9月8日 测定
	15	50.7	7.6	-33	247.10	10.59		
	20-25	42.8	7.5	178	99.00	13.00		
	40	38.1	7.4	383	10.75	3.09		
II	3-10	46.8	7.7	-38	173.10	16.78		
	15	38.7	7.7	-92	141.96	18.25		
	20-25	35.0	7.9	—	—	—		
	40	30.7	7.8	—	—	—		
IV	3-10	46.0	7.5	35	208.60	14.56		
	15	44.5	7.5	11	190.50	17.71		
	20-25	44.0	7.7	259	78.08	14.34		
	40	29.6	7.7	382	43.05	7.27		
V	3-10	49.6	7.9	26	143.96	20.06		
	15	33.3	7.7	-25	55.12	18.70		
	20-25	31.9	7.6	282	53.62	12.18		
	40	21.0	7.7	379	微量	8.88		

表5 不同灌溉对土壤耕层电导率的影响  
( $25^{\circ}\text{C} \times 10^{-4} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ )

	分蘖期 7月14日测定	分蘖—拔节期 烘田前7月30日测	孕穗—抽穗期 9月5日测
深水灌溉	5.99	6.08	4.61
干干湿湿	7.58	7.78	6.92
浅水勤灌	6.11	6.18	4.95
湿漉灌溉	8.70	9.61	7.45

## 二、烤田对土壤性状的影响及其意义

烤田在我国南方是构成水分管理中的一个极其重要的措施。所谓烤田，就是在水稻生长发育的某一时期把田间的水排干几天，然后再灌上水。在烤田的程度上有轻重之分，单季晚稻一般都在拔节期进行一次“重烤”。所谓“重烤”，据农民的经验是烤到田边发白。中间出现鸡爪裂或麻丝裂为止。而轻烤，则指烤到田面不陷脚，但能有脚印的程度。关于烤田的时期和程度，我国农民依据其丰富的经验，视具体情况来灵活应用的。并将这一经验概括为“高田少晒，低田多晒，肥田晒老，瘦田晒嫩”。

在水稻栽培过程中，我国农民运用烤田来控制它，使其向人们需要的方向生长发育以达到增产的目的，并且把它看作一项极其重要的增产技术措施，广泛地被应用在生产实践中。

(一) 烤田对土壤物理性状的影响 烤田的方法是田面落干，因此，首先引起土壤液相气相的比例及其组成的变化，现分以下几点讨论。

1. 土壤水分状况的变化：在排水烤田前，田面上淹有一薄层水，这时土壤耕层的水分呈过饱和状态。耕层水分的过饱和和引起它具有独特的理化生物特性。在物理性质上，首先是耕层中缺少空气，这时耕作层主要是由固相和液相两部分组成（如图1所示），并且使表层（0—10厘米）土壤呈现软烂半流动泥糊状态，人若走入田中必然下陷。此种状态可称为固相分散在液相中，而犁底层及其以下则与此相反，不但土壤固实，而且是固、气、液三相共同存在。当一旦把水排除，耕层的水分状况就发生强烈的变化。例如8月3日上午排水烤田，当排出田面水后，在8月5日测定了土壤含水率，此时耕层的含水率只占总孔隙的91.5%（表6），可见田面落干后就会有一定数量的空气进入耕层中。

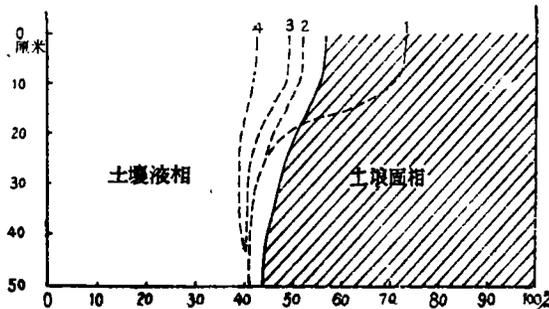


图1 烤田过程中土壤固、气、液三相的变化

1. 7月30日测定土壤剖面容积含水率的曲线
2. 8月5日测定土壤剖面容积含水率的曲线
3. 8月9日测定土壤剖面容积含水率的曲线
4. 8月14日测定土壤剖面容积含水率的曲线

表 6 烤田过程中剖面各层水分占总孔隙及毛管孔隙的百分率

层 次 (厘米)	日 期(日/月)	5/8		9/8		14/8	
		占总孔隙	占毛管孔隙	占总孔隙	占毛管孔隙	占总孔隙	占毛管孔隙
3—15		91.5	94.0	87.5	90.0	75.5	77.5
20—30		94.0	95.5	85.5	87.0	80.4	81.9
40—50		94.5	94.5	94.0	94.0	91.3	91.3

随着烤田过程的进展,耕作层水分的减少,土壤空气也在逐步增加,如当达重烤时,耕层土壤含水率占总孔隙的 75.5%,表明耕层土壤由泥糊状态,因烤田而转变为比较固实的耕层,并有空气透入,使耕层三相的比例发生了巨大的变化。

烤田过程中土壤耕层水分的减少,并不是等速的,这点可从图 2 的脱水曲线中看出。当达轻烤之后和重烤之前,有几天脱水较强烈,其具体表现是 8 月 9 日到 11 日那段脱水曲线的斜率较其他两段为大。显然这与田面蒸发、水稻蒸腾及自由水下移等相关。

从图 2 的脱水曲线上还可以看到,随着烤田的进展,在剖面中 40—50 厘米以上各层水分都有不同程度的减少,而 40—50 厘米处几乎没有有什么变化。

土壤耕层水分状况在烤田过程中的变化,必然会引起土壤耕层的其他理化、生物等特性的变化,从而影响到水稻的生命活动。现有的材料,证实了这些变化的存在,也显示出这些变化是密切相关的。

2. 土壤空气状况的变化:如前所述,在淹水时耕层几乎没有空气存在。排除田面水后,空中大气就会进入耕层中,并使原来长期闷在沉实层下部的空气得以与大气进行交换。在淹水条件下,耕层下部的土壤空气是以  $\text{CO}_2$  为主,而  $\text{O}_2$  则很少,这是可以想象得到的。另外,从我们渗漏水的分析结果(见表 10)也可以得到了间接的证实。如烤田前 7 月 30 日测定渗漏水中溶解的  $\text{CO}_2$ ,每升中有 74.5 毫克,溶解  $\text{O}_2$  的含量每升为 1.54 毫克,测定时水温为 28.0℃;而在 7 月 17 日测定的田面水则不含有  $\text{CO}_2$ ,其含氧量比渗漏水高 5.5 倍,测定时水温为 27.5℃。温度虽只差 0.5℃,但溶解的气体量则有很大的差异。渗漏水中含有高量的  $\text{CO}_2$  和极少量的氧,不能不对耕层下部土壤空气组成发生很大的影响。一旦排出田面水不仅耕层有空气进入,下层土壤空气与含  $\text{CO}_2$  只有 0.03% 的大气进行交换,其组成也必然发生较大的改变。即  $\text{CO}_2$  含量降低,氧气含量增加。土壤通气状况及其空气组成的变化,必然会引起耕层中电位的上升及还原物质的减少,从而也会对稻根产生重大的影响。

3. 耕层土壤软硬度的变化:烤田前,田面积水,耕层土壤水分呈过饱和状态。如前所述,此时耕层土壤分散于水中呈半流动泥糊状。当烤田时,它由软烂而转为较板结,但当复水之后,它并不恢复原状呈半流体。可以把它比作如泡在水中的羹状物一样,即软而又不烂。从 9 月 22 日测定耕层软硬度的结果来看,这个差异也是存在的。如将 2.5 公斤的重锤提高 15 厘米后,令其自由落下,如此连击 5 次,则紧实度测定仪被打入耕层的深度烤田小区为 5.2 厘米,不烤田则为 6.4 厘米。另外,当我们在烤田复水后走入田中,虽然田面也积水,但脚却不下陷,只感到稍软;而不烤田者则仍然下陷。烤田引起的这种变化对防

止水稻倒伏和秋收作业都有极大的好处。

4. 土壤渗漏量的变化: 土壤经过烤田, 由于田面发生开裂, 必然会引起渗漏量的增加。这一点可以从表 7 中看出, 烤田前, 浅水勤灌的两个小区渗漏量的差异较小, 不烤田小区较烤田小区平均每天多渗漏 1.8 毫米。但在烤田之后, 烤田小区较不烤田小区的渗漏量

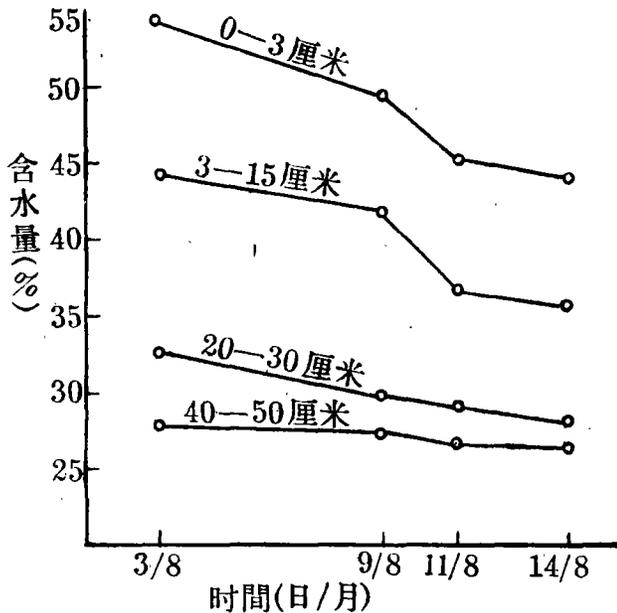


图 2 烤田过程中剖面各层的水分变化

平均每天大 2.38 倍, 而和烤田前比则大 2.35 倍, 不烤田小区反而每天少渗漏 1.9 毫米。在此期间即水稻从营养生长转入生殖生长的阶段, 根部需氧最多, 而地上部因节间加长, 通气组织不甚发达之际, 加大渗漏量就显得有其重要的意义。

另一方面可使烤田期间新矿化出的有效养分向下部移动, 供给下层新生根的利用, 同时也可以从还原的耕层中多淋洗出一些对水稻有害的还原性物质。农民反映: 不漏水的田或漏水太快的田都不会高产。日本也有人<sup>[11-13]</sup>在这方面作了初步研究, 并提出所谓“适当渗漏量”的问题。看来只作量的研究还不够, 必须采取现代的物理化学方法分析渗漏水的成分, 以揭发其与水稻土形成及水稻生长发育的关系, 为创造高产水稻土和进一步提高水稻产量提出新的途径。

## (二) 烤田对土壤化学特性的影响

1. 氧化还原电位的变化: 在烤田前整个耕层除表面几毫米外, 都处于还原状态, 而耕层以下至地下水位以上皆为氧化状态, 这点如表 1 及图 3 所示。

但当排水时, 由于耕层土壤水分的降低及空气的透入, 使耕层大量的有害的还原物质马上转化为氧化物, 同时也由于耕层从几乎无氧一跃而为含有一定量的氧气, 就必然引起氧化还原电位的升高。其变化的特点与脱水曲线(图 2)有些相似。

耕层电位在烤田时这种质的突变, 也标志着土壤中氧气的增多及还原物质的减少。电位的变化也与土壤中的生物活动及  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  的消长密切相关。这种质上

的突变会对水稻生长发育产生一定的作用。

表 7 烤田前后土壤渗透量的变化 单位:毫米

处 理	累积消耗水量	叶裸蒸发累积量	渗漏累积量	日平均渗透量	以不烤田为 100
烤 田 前 (日/月) 16/7-1/8					
不 烤 田	362.3	216.2	146.1	8.6	100
烤 田	331.0	216.2	114.8	6.8	78.0
烤 田 后 14/8-30/8					
不 烤 田	357.9	243.6	114.3	6.7	100.0
烤 田	517.3	243.6	273.7	16.0	238.0

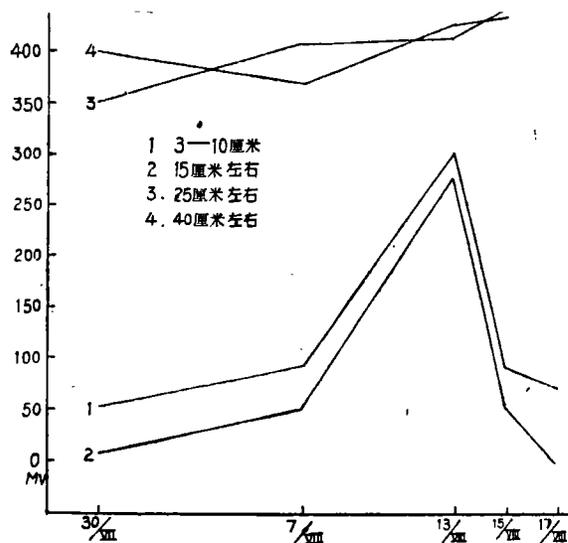


图 3 烤田过程中电位的变化

土壤中氧化还原电位的变化与低价铁、锰变化相关,测定结果表明低价铁和锰的变化与氧化还原电位的变化相一致,其中特别是对水稻有毒害作用(当它存在量多时)的亚铁,在烤田时有显著减少(表 8),但耕层下部则变化不大;而锰虽然也有所减少,但不象亚铁变化那样强烈。大量亚铁的减少,对根的生命活动来说是有利的。

2. 耕层土壤电导的变化:在烤田前后土壤水分过饱和的情况下,我们曾用惠氏电桥测定其电导率的变化,结果如表 9。

由结果可见,在烤田后土壤水溶液中能导电的物质的浓度比烤田前或不烤田处理都有所增加。可以认为水田土壤电导的增高,主要是由于水溶液中还原性铁、锰、 $\text{CO}_2$  及铵态氮的增多而造成的结果,但是从表 8 及表 10 来看,烤田后(15/8 及 17/8) 3—10 厘米内的亚铁含量比烤田前(30/7)低很多;而耕层中(3—10 厘米)亚锰及渗漏中之  $\text{CO}_2$  也比烤田前少一些。然而电导率则有增加,这就使我们联想到可能象许多材料所证明系由于烤田后耕层土壤中铵态氮大量的增多所致。这样看来,烤田对水稻幼穗分化是有极大的

表 8 烤田过程中电  
(单位: Eh:mv, Fe<sup>++</sup>)

层 次	30/7 烤 田 前			7/8 輕 烤			重	
	Eh	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Eh	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Eh	Fe <sup>++</sup>
3—10 厘米	51.0	195.0	18.3	90.0	93.0	11.4	301.0	—
15	7.0	173.0	19.5	50.0	162.4	16.3	278.0	31.2
25	353.0	54.8	18.7	406.0	2.21	15.5	414.0	0.34
40	400.0	1.64	3.7	371.0	7.0	1.9	423.0	0.32

注: 测定时土壤 pH 值都接近 7.5 左右。

表 9 耕层土壤(3—10 厘米)电导率  
[ $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}(25^\circ\text{C})$ ]

处 理	烤田前 30/7	烤 田 后	
		回水 24 小时 15/8	回水三天 17/8
烤 田 小 区	$6.18 \times 10^{-4}$	$7.58 \times 10^{-4}$	$8.23 \times 10^{-4}$
不 烤 田 小 区	—	$4.57 \times 10^{-4}$	

好处。

(三) 烤田过程中渗漏水的研究 关于研究渗漏水的重要性,亦已为我国农民的經驗所証实,即水田要适当漏水。它的成分和移动速度除与水稻土生成发育有密切相关外,也关系到在水稻生长期間土壤环境代謝产品的更新。

从表 10 中可以看到灌溉水经过耕层之后其化学性质已发生了质的变化。很明显的是 pH 及电位的下降, CO<sub>2</sub> 含量的增高,氧气含量的减少,并含有少量的亚铁和亚錳。这种变化与水稻土耕层土壤的特性及水稻的生命活动密切相关。也可以看到在复水 30 小时后,因渗漏速度加大,所以其电位、含氧量及 pH 等都有不同程度的增高,而 CO<sub>2</sub>、亚铁、电导等则是下降的。

渗漏水中还含有简单有机物及 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>、Ca<sup>++</sup>、Mg<sup>++</sup>、K<sup>+</sup>等,它們也随着水分的渗漏而流失,虽然通过灌溉水可以补充一些,但考虑养分平衡时也絕不应忽视这一部分。从烤田前渗漏水中 SiO<sub>2</sub> 的含量来看,水稻土耕层之中 SiO<sub>2</sub> 在淹水条件下,不但可溶性增大,而且也有一定淋失。可是它的可溶性增大对水稻防病害、抗倒伏方面有其特别重要的意义,这已为許多材料所証实<sup>[14]</sup>。还証明它与氮、鉀有相对称的关系,同时它也促进水稻对磷的吸收及其在体内的移动。

渗漏水的分析証明:在水稻长期間的淹水条件下,耕层中缺少氧气,而 CO<sub>2</sub> 則很多。这对根的生命活动是不利的,会抑制水稻对养分及水分的吸收。Chang 和 Loonnis<sup>[15]</sup>証明水稻的水培液中,每小时通以 10 分鐘的 CO<sub>2</sub>,水分吸收降低 14—15%,同时养分的吸收以 K > N > P > Ca > Mg 的順序受到阻滯。另外,氧气的缺少是按 P > K > Si > Mg > NH<sub>4</sub>-N > H<sub>2</sub>O > Ca > Mn 次序抑制水稻对水分及养分的吸收<sup>[16]</sup>。

(四) 烤田与水稻生长发育的关系 水稻到拔节期,在生理上是由一个生育期(营养生长期)过渡到另一个生育期(生殖生长期),此时环境缺水,常有增产效用。因为此时

## 位 鉄、錳 的 变 化

Mn<sup>++</sup>: 毫克/100克)

烤	15/8 复水后 24 小时			17/8 复水后三天			13/8 不 烤		
	Eh	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Eh	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Eh	Fe <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>
—	91.0	25.2	16.1	71.0	80.1	14.5	48.0	303.0	16.6
12.6	50.0	156.0	15.2	-3.0	178.0	11.3	14.0	244.0	17.0
0.21	439.0	—	—	—	—	—	404.0	—	—
1.13	436.0	—	—	—	—	—	436.0	—	—

表 10 水 分 分 析 结 果

测定日期 (日/月)	结 果 项 目 样 品	水 温 (°C)	总 碱 度 (me/l)	pH	溶解 CO <sub>2</sub> (mg/l)	溶解 O <sub>2</sub> (mg/l)	Eh (mv)	Fe <sup>++</sup> (mg/l)	Mn <sup>++</sup> (mg/l)	电 导 率 (n°cmv, 25°C)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	P (mg/l)
輕烤 7/8	渗漏水	30.0	0.0	6.70	53.2	1.74	170	1.89	0.90	10.89×10 <sup>-4</sup>	—	—
回水后 30小时 15/8	渗漏水	30.0	0.0	7.00	18.6	3.40	365	0.22	0.0	8.32×10 <sup>-4</sup>	1.0	—
回水3天 17/8	渗漏水	28.0	0.0	6.70	41.6	1.71	280	1.42	0.0	7.60×10 <sup>-4</sup>	3.0	0.61
返青期 5/7	灌溉水	31.0	3.43	8.50	0.0	7.39	380	0.0	0.0	—	3.0	0.20
分蘖期 17/7	田面水	27.5	4.27	8.25	0.0	8.44	305	0.0	0.0	6.12×10 <sup>-4</sup>	—	0.33

需要大量的碳水化合物养料,同时根之呼吸也最旺盛(表 11),其耗氧量已达高峯<sup>[17]</sup>。若土壤中缺少氧气或 CO<sub>2</sub> 及 H<sub>2</sub>S 累积过多<sup>[18]</sup>,都会抑制水稻对土壤养分的吸收,使新根受害。这可能是我国农民称为的“秋敗”等问题的产生原因之一。

农民經驗也是如此,即烤田改善了土壤环境,解决了此时水稻与环境条件的矛盾,所以烤田能增产。

1. 烤田对水稻根系的影响:在烤田过程中,因耕层土壤水分的减少,空气的透入,强还原状况的消除,从表 12 可见烤田与不烤田相比,首先是促使黑根数显著减少,黄根增多。回水后虽然黑根又增多了,但和不烤田相比还是少得多,可是白根则增加很多。连系各种根的机能<sup>[19]</sup>来看,由于烤田引起的这种变化确是改善了水稻对养分的吸收,因此不能不說它为水稻的生殖生长提供了优越的条件。烤田的功效不止于此,在根量上及各种根在剖面中的分布上也引起了一些深刻的变化。

表 11 根 的 呼 吸 强 度 (O<sub>2</sub> 微升/克/小时,以鮮重計)

测 定 日 期 (日/月)	不 烤 田	烤 田	以不烤田为 100
6/8	18.83	20.815	110.6
8/8	15.93	18.36	115.2
11/8	25.25	29.00	111.9
16/8	20.89	23.95	114.6
19/8	19.67	23.04	117.1
29/8	12.29	16.17	131.5

表 12 烤田过程中黄、白、黑根数(单株)的变化

测定日期 (日/月)	处 理	总根数	白根数	白根占总根 的百分率	黄根数	黄根占总根 的百分率	黑根数	黑根占总根 的百分率
6/8	不烤田	64.8	—	—	45.2	69.77	19.6	30.25
6/8	烤田	78.6	—	—	68.9	87.66	9.7	12.34
8/8	不烤田	98.1	—	—	81.7	83.28	16.4	16.72
8/8	烤田	86.6	—	—	84.3	97.33	2.3	2.67
16/8	不烤田	93.8	2.0	2.13	58.3	61.5	33.5	36.3
16/8	烤田	97.0	8.1	8.35	80.6	83.0	8.3	8.6
18/6	不烤田	92.2	2.6	2.82	42.2	45.77	47.4	51.41
18/6	烤田	43.1	12.0	27.84	18.0	41.77	13.1	30.39

注：8月6日与8月8日两次测定的各个处理中白根数已包括在黄根之内。

表 13 烤田与不烤田的白、黄、黑、细根量及总根量比较(8月22日测定)  
(单株根干重:毫克)

采 样 深 度 (厘米)	烤 田				不 烤 田			
	白 根	黄 黑 根	细 根	总 量	白 根	黄 黑 根	细 根	总 量
0—15	16.95	175.20	76.90	269.05	16.60	156.50	53.30	226.40
15—30	12.22	4.60	13.30	30.12	4.70	9.90	11.20	25.80
30—50	2.15	0.07	0.0	2.22	0.40	1.80	0.0	2.20
总 量	31.12	179.87	90.20	301.39	21.70	168.20	64.50	254.40

从表 13 来看,可以认为烤田能促使根系下伸还是白根,而其他各种根在剖面中的分布,烤田与不烤田者似乎没有什么明显的差异,这点对具有吸收机能的白根来说就更有其特殊的意义。在烤田过程中曾观察到水稻吸收养分的主角——细根进行了一次更新。

由表 13 上可见,因烤田引起白根下伸,所以各种根在剖面各层的分配比例也相应的有所变动,明显地是白根在下层所占比例都大大增加。从根的质量、数量及下扎情况来看,烤田是比不烤田扩大了根的营养面积及活动范围。这样也可以说烤田还是充分利用土壤养料的一项农业技术措施。烤田提高了根的数量与质量,加强了根系活动能力的另一证据是根的呼吸作用加强了(表 11)。

回水后虽然根之呼吸强度都有些下降,烤田者下降的慢一些。这点除与其根的质量好有关外,也绝不能忽视因烤田引起渗漏水增大近乎 2.4 倍的意义。这意味着通过灌溉水每天平均向土壤中输送氧气比不烤田者多了将近 2.4 倍。另外如把还原性有毒物质及 CO<sub>2</sub> 带走,并从表土带下一一定量的养料供新根利用等。总之,根的一系列变化都与因烤田引起土壤理化生物特性的改变密切相关。

2. 烤田对水稻地上部的影响:烤田引起土壤理化生物特性的变化,并进而提高了根的质量与数量等就不能引起植物地上部分的反应。首先是在烤田过程中水稻从青绿色变为黄绿色或淡绿色,而回水后又转变为青绿和深绿。这种变化与叶片中全氮量低于不烤田相关(见表 14)。这就是陈永康同志所提出的第二黄及第二黑。

一般以为烤田可使茎秆粗壮,但就我们对第二节的观测来看,长粗到没发现反而细了

些,但长壮这确是事实。如烤田处理较不烤田者机械组织厚度增加,而细胞间空腔的数目及其直径都变小(见表 15),并且细胞排列的也紧密。这是排水烤田在抗倒伏上所起的作用之一。

烤田促进了地下部的发育,也抑制了地上部植株与叶片的生长,二者可能是互为因果的。这一点都集中的表现在单穗干重上。从表 16 可见,在烤田期间,烤田处理单穗干重的增长量或增长速度都低于不烤田的。

这些变化对水稻转入生殖生长可能都是有利的。

表 14 叶片全氮量(含氮%)

处 理 日 期	烤 田	不 烤 田	以不烤田为 100
8 月 2 日	2.24	—	—
8 月 7 日	1.88	2.15	87.5
8 月 10 日	1.84	2.04	90.3
8 月 12 日	1.89	2.03	93.2
8 月 19 日	1.94	2.10	92.5
8 月 22 日	2.02	2.05	98.7

表 15 烤田不烤田茎秆组织结构比较(20个整横切面的平均值)

测 定 项 目 处 理	茎秆直径 (厘米)	维管束数	细胞间孔 腔数	空腔直径	秆壁厚度	机械组织 厚度	备 注
浅水勤灌不烤田	0.35	52.7	26.9	8.1	57.0	2.9	显微镜倍数: 10×8
浅水烤田	0.32	55.0	26.4	5.3	53.8	3.7	切片采取正横切面

表 16 单穗干重(单位:毫克)

测 定 日 期 (日/月) 处 理	7/8		12/8		增 加 量	%
烤 田	1336	100	1646	123.20	310	64
不 烤 田	1471	100	1970	133.90	499	100

## 结 语

通过今年在大田进行的灌溉试验,我们可以得出下面几点初步结论:

1. 探索出在大田中收集水田渗漏水的方法,并对其化学性质作了初步分析。证明灌溉水通过耕层后其化学性质发生了巨大的变化。
2. 不同灌溉方式,在耕层土壤水分饱和的条件下,并未引起土壤氧化还原状况有什么明显的差异。而耕层的温度变化及电导率则有显著的不同。
3. 灌溉方式不同引起土壤渗漏速度及渗漏水电导率都不一致,所以渗透水的化学组成可能有差异。
4. 湿润灌溉较其他几个处理的秧苗转青慢,而分蘖率则高。
5. 因烤田改变了耕层土壤水分状况,从而引起耕层软硬度及土壤空气组成、渗漏速度

发生了变化。

6. 由于土壤耕层脱水及空气透入,所以在烤田过程中,电位由低而高,复水后又降低。然而还原性的铁及锰则与电位的变化完全相反,即由多到少,转而又多。

7. 烤田促使黑根减少,白根下伸,细根更新,根的呼吸强度增大。又能抑制水稻地上部茎、叶的伸长生长,从而降低了单穗干重的增加。也促使稻株第二节的组织结构紧密显得壮了一些,故可增强抗倒伏能力。

烤田对水稻的这些影响都与土壤环境的改变密切相关。

## 参 考 文 献

- [1] 全国水稻會議專題報告。1958年水稻田間管理的經驗,农业科学通訊 1959年8期。
- [2] 四川省水利厅灌溉站:論成都平原水稻的淹灌水层。中国水利 1958年5期。
- [3] 毛礼钟:从植物生理观点来看水稻晒田。植物生理通訊 1958年第5期。
- [4] 陈永康:談談水稻田間管理的几个問題。华东农业科学通报 1959年第7期。
- [5] 陈稻奋:水稻灌溉。中国农报 1959年第8期。
- [6] 崔激:水稻水分生理及合理灌溉的研究。植物生理通訊 1956年第5期。
- [7] 江苏省农林厅农业局編:水稻的田間管理。江苏人民出版社 1958年6月第一版。
- [8] 建筑工程部綜合勘察院編:水質分析操作暫行規程。建筑工程出版社 1958年12月第一版,第34—35頁。
- [9] 苏联国立海洋研究所編(姜康后等譯):海水化学分析指导。科学出版社 1955年3月第一版,第65—82頁。
- [10] A. A. 列茲尼科夫, E. П. 穆里科夫斯卡娅合著(李善芳等譯):天然水的分析方法。地质出版社 1957年6月第一版,第30—33頁, 100—101頁。
- [11] 内山修男等:水田の渗透性の意义につへて(第1, 2, 3報)。日本土壤肥科学第27卷。
- [12] 内山修男:水田土壤的特征及其与水稻生产力的关系。土壤肥料。中华人民共和国农业部印 1958年3月。
- [13] 山崎不二夫:水田的适当渗透量。土壤肥料。中华人民共和国农业部印 1958年3月。
- [14] 楊开浪著:水稻栽培。四川人民出版社 1958年1月第一版。
- [15] F. N. 彭拉姆帕魯馬著(刘志光等譯):濱水土壤的化学与水稻生长的关系。科学出版社 1959年6月第一版。
- [16] 香山俊秋:水稻の幼穗形成期を中心としての水管理。农业及园艺 1958年33卷7期。
- [17] 佐藤健吉:水稻の根の呼吸特に水中溶在酸素の消耗と就て。日本作物学会紀事 1943年第14卷第3—4号。
- [18] 三井进午著(朱光琪等譯):水稻无机营养、施肥和土壤改良。上海科技出版社 1959年3月第一版。
- [19] 佐本自智等:栽培时期をにする水稻の生育經過に関する研究Ⅱ·水温、地温及び土壤酸化還元电位の推移と水稻地下部の变化につへて。日本作物学会紀事 1959年第27卷第3期。