

太湖流域低产“白土”的成因及其改良

于天仁 謝建昌 楊国治 高子勤 陈家坊
沈壬水 丁昌夔 周起崑

(中国科学院土壤研究所)

白土是太湖流域的主要低产土壤之一,过去水稻产量一般为四百多斤,約比一般土壤的产量低四分之一到三分之一,在特別低产的地区,水稻产量仅有二、三百斤或者更低。在1958年初江苏省举行的丰产公社代表会议上,提出了改良低产土壤的任务,其中也包括白土。会后,土壤研究所根据江苏省的要求,接受了关于白土改良的研究任务。我們先后在太湖四周的常熟、吳江、无錫、武进、宜兴和浙江的吳兴等县的典型地区进行了重点調查研究。野外工作结束后,选择了具有代表性的地点——武进县漕桥乡,与农民一道进行了白土改良的田間試驗,并同时开始了盆栽試驗和室內研究。現在根据所得資料,做个初步总结。

一、关于白土的成因問題

白土又叫白土头、淀煞白土或小粉白土,各地农民的叫法不一。根据調查所見和江苏省有关部門的材料,各地农民所称的白土,实际上包括三个类型:一种是在太湖西部丘陵地区的小粉白土,这种土壤是由于水分逐渐将表土中的較細的土粒和鉄、錳淋走一部分而形成的;一种是分布在太湖东部比較低凹地区的白土,这些地区过去都是湖泊,由于潜水的的作用,将土壤所含的鉄化合物洗走一部分,在質地較輕时,使土壤的整个土层現白色,所以实际上是一种脫沼泽型的土壤;第三种是真正的淀煞白土,主要分布在太湖的北部和西部。因为这类白土的面积最大,所以下面所談的,也主要是限于这一类白土。

这类白土在无錫和宜兴县分布最多,在吳县、常熟、江阴、武进等县也有一定面积的分布。根据粗略的估計,这类白土約占太湖北部和西部各县的耕地面积的百分之十左右。

为什么叫白土呢?这是因为这类土壤具有一些共同的特点。表土耕作层的顏色一般較其他土壤为浅,其下有一层厚約10—20厘米的比較紧密的犁底层,再往下有一层灰白色的白土层(图1),这就是白土或白土头的由来。如果在30—40厘米以下再出現白土层,产量就和一般的黄泥土没有什么差别,农民也就不再叫它做白土了。紧接着白土层的,是比較粘重的黄泥。

为什么叫做淀煞白土呢?这是因为在插秧时水很容易澄清,土壤很容易板結。农民普遍反映,在灌水耙平后必須迅即插秧,否則土壤都沉淀下去,就很难插秧了。从表1的分析結果可以看出,这种特性与表土所含的胶粒較少,而細砂粒較多有关。

关于白土的成因問題,目前还难于得出肯定的結論。下述的几个情况,可以有助于对

这个问题的了解：(1)在太湖流域的沉积平原中，地形还是有稍微的起伏的；白土所处的地位，一般是较黄泥土为低，而较乌山土为高。(2)白土都是成片分布的，大的片可以周围十数里或更多，小的片也可能仅一两里，但没有发现个别成小田块零星分布的。(3)白土多是在距村庄或大河较远的地方；在村庄附近或大河附近，一般找不到白土。(4)对于上述现象的解释，各地农民都说是因为过去施肥料(河泥)少而形成的。(5)白土层与犁底层的分界一般不很明显，往往是过渡的。(6)白土层的厚度不一，最厚的可达25厘米，最薄的有时不到10厘米，一般为10—20厘米。(7)白土层出现的深度不一，最浅者距地表不到20厘米，一般是25厘米左右，也有出现更深的。(8)白土层的颜色不一，有的为浅灰色，有的为白灰色，有的为灰白色，其中所夹杂的棕黄色物质的数量也不相同。(9)白土层与黄泥层的分界，多半为锯齿状，但远距离看来，分界颇为明显。(10)黄泥层上部小土块表面为紫灰色胶状物所复被，往下胶状物渐少。一般说来，白土层的发育愈明显，黄泥层的胶状物也愈多。在构造上，土块的裂面以垂直者为主。(11)整个土层都可发现绿豆大小的铁子，以在与白土层交界处的黄泥层上部最多。

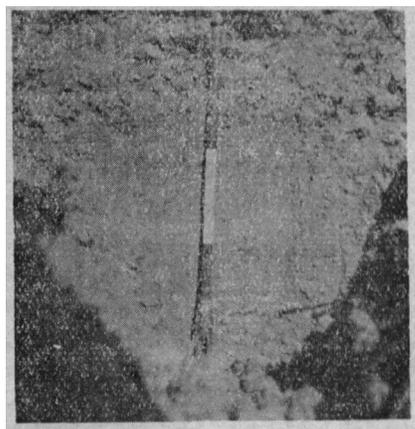


图1 典型的白土剖面图
(武进漕桥乡运村)
(土钻白色部分为白土层)

1. 从机械组成上看，白土剖面至少包括两个时期的沉积，而且在沉积以后，上部胶体又遭受一定程度的破坏淋溶。表1为几个代表性白土剖面的机械分析结果。为了比较起见，也列有两个脱沼泽土剖面的分析结果。可以看出，黄泥层的质地较粘，含胶粒34—45%，而白土层的胶粒含量，则仅有10—20%。这些截然不同的机械组成，只能使人认为是由于两次沉积的结果。从地区分布来看，似乎太湖西部(宜兴和武进)黄泥层的胶粒含量，较太湖北部(常熟和无锡)为高。这大概与过去各该地区的沉积条件不同有关。在与太湖东部(吴江)和南部(湖州)的脱沼泽土壤作比较时可以发现，白土的沉积情况与这类曾经遭受过很长时期的潜育作用的脱沼泽土没有共同之点。

白土层中的胶粒含量，一般也较其上部土层为少，而且发育得特别强烈的白土剖面(宜兴南丰)，其白土层的胶粒含量最低。这大概是由于两方面的原因所造成：上部土层受过较多的粘质塘泥的影响，并且白土层遭受过一定程度的破坏淋溶。

2. 从化学组成上看，白土曾遭受过一定程度的还原作用的影响。表2中的分析结果显示，白土层的含铁量特别低，除去常熟者以外(含 Fe_2O_3 4.21%)，其他三个白土层仅含 Fe_2O_3 3.11—3.23%。锰因为含量很少，而且全剖面都含有小铁锰结核，虽然在处理标本时已尽可能将铁子除去，但稍微的混杂即可影响分析结果，所以看不出明显的分布规律。一般说，表层的含锰量较低，这与中国南方一般水稻土中的情况相似。

我们认为，对于物质来源大致相同的土壤，其所含的氧化铝和氧化铁的分子比例，大致可以作为判定土壤是否遭受过还原淋溶作用的一个指标。如果说在刚沉积的时候，土壤中铁和铝的含量主要决定于其机械组成，而且铁和铝的比例，大致保持一个常数，则在遭受还原淋溶作用的时候，淋走的主要是铁，而铝基本上保持不动，因此铝和铁的分子比

表1 白土的机械组成*

标本 号码	采集地点	深度 (厘米)	土层	各级颗粒含量(%) (毫米)							质地 (苏联制)
				1—0.25	0.25— 0.05	0.05— 0.01	0.01— 0.005	0.005— 0.001	<0.001	<0.01	
32478	常熟大义	0—12	表土	0	3.8	47.9	10.9	10.3	27.2	48.3	重壤土
32479		12—22	犁底	0	1.5	46.6	12.7	13.0	26.3	51.9	”
32480		22—31	过渡	0	0.4	52.8	12.5	12.2	22.2	46.9	”
32481		31—47	过渡	0	3.2	49.9	13.1	13.8	20.1	46.9	”
32482		47—54	白土	0	2.9	49.9	13.2	14.4	19.6	47.2	”
32483		54—61	黄泥	0	0.4	39.0	10.7	13.2	36.7	60.6	轻粘土
32484	61—120	黄泥	0	4.9	36.8	10.4	13.4	34.6	58.4	重壤土	
33444	无锡漭州	0—12	表土	0	3.7	50.6	13.9	12.6	19.2	45.7	重壤土
33445		12—20	犁底	0	4.2	52.8	14.1	8.7	20.2	43.1	中壤土
33446		20—37	白土	0	2.2	54.4	12.7	11.0	19.8	43.5	”
33447		37—70	黄泥	0	1.8	34.2	10.6	13.0	40.4	64.0	轻粘土
33448		70—	黄泥	0	1.4	38.2	11.1	15.3	34.0	60.4	”
33489	武进漕桥	0—10	表土	0	1.6	46.0	15.4	13.0	24.0	52.4	重壤土
33490		10—20	犁底	0	1.4	46.4	17.9	9.2	25.1	52.2	”
33491		20—40	白土	0	0	47.0	17.8	15.0	20.2	53.0	”
33492		40—55	黄泥	0	0	33.0	11.0	12.5	43.5	67.0	轻粘土
33493		55—	黄泥	0	0	29.0	14.0	12.0	45.0	71.0	”
33468	宜兴南丰	0—16	表土	0	2.6	56.0	15.8	10.1	15.5	41.4	中壤土
33469		16—35	白土	0	1.3	56.6	13.5	12.3	16.3	42.1	”
33470		35—50	黄泥	0	1.1	25.3	20.0	15.5	38.1	73.6	轻粘土
33471		50—	黄泥	0	0	33.8	9.9	14.1	42.2	66.2	”
33406	吴江震泽 (脱沼 土)	0—11	表土	0	2.7	58.0	10.3	11.2	17.8	39.3	中壤土
33407		11—15	犁底	0	2.4	59.0	7.4	11.2	20.0	38.6	”
33408		15—20	过渡	0	1.5	80.5	3.6	2.9	11.5	18.0	砂壤土
33409		20—40	潜育	0	8.9	79.5	1.3	3.6	6.7	11.6	”
33410		40—120	潜育	0	0.6	84.5	3.0	3.8	8.1	14.9	”
33423	湖州毛安 桥(脱沼 土)	0—15	表土	0	2.2	38.9	11.3	25.0	22.6	58.9	重壤土
33424		23—45	埋藏表 土	0	0	25.0	17.8	21.0	36.2	75.0	轻粘土
33425		45—75	潜育	0	0.4	35.5	13.1	17.7	33.3	64.1	”
33426		75—105	潜育	0	2.9	48.0	12.8	14.2	22.1	49.1	重壤土

* 张云、施守馨分析。

例增大。从表 2 中的结果可以看出,白土层的铁铝率都比较高。还有一个值得注意之点,各表土的铁铝率也比较高(无锡者除外),这也与南方的水稻土情况相似,即表土曾遭受了一定程度的还原淋溶作用。宜兴南丰的白土是发育得特别强烈的一个剖面,表土即为灰

表2 白土的全量組成

标本 号碼	采集地点	深度 (厘米)	土层	全量組成 (%)				烧失量 (%)	分子率	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO		SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
33478	常熟大义	0—12	表土	69.09	12.05	4.81	0.016	9.68	9.8	3.96
33479		12—22	犁底	69.36	11.09	5.62	0.017	9.04	10.3	3.12
33480		22—31	过渡	71.62	10.34	5.16	0.052	7.16	11.7	3.22
33481		31—47	过渡	73.52	10.64	4.86	0.030	6.32	11.8	3.46
33482		47—54	白土	75.84	10.42	4.21	0.029	5.98	12.4	3.91
33483		54—61	黄泥	63.62	14.01	7.92	0.029	10.25	7.7	2.79
33484		61—120	黄泥	62.34	15.43	6.77	—	10.39	6.9	3.58
33444	无錫瀟州	0—12	表土	73.47	9.46	4.76	0.023	7.63	13.2	3.13
33445		12—20	犁底	73.81	10.08	—	0.023	7.26	12.4	—
33446		20—37	白土	78.60	9.15	3.23	0.030	4.92	14.6	4.47
33447		37—70	黄泥	62.98	14.98	6.06	0.053	10.92	7.2	3.91
33448		70—	黄泥	63.32	14.58	6.16	0.044	9.81	7.4	3.73
33489	武进漕桥	0—10	表土	70.03	11.06	4.14	0.032	7.28	10.8	4.21
33490		10—20	犁底	72.55	11.28	4.59	0.059	7.26	10.9	3.88
33491		20—40	白土	72.19	9.00	3.23	0.011	4.69	13.6	4.40
33492		40—55	黄泥	63.16	16.10	5.89	0.033	10.70	6.7	4.32
33493		55—	黄泥	61.14	16.43	6.22	0.030	11.46	6.6	4.17
33468	宜兴南丰	0—16	表土	77.20	9.19	3.18	0.030	5.59	14.2	4.56
33469		16—35	白土	79.37	8.54	3.11	0.040	5.23	15.8	4.32
33470		35—50	黄泥	64.08	14.53	5.49	0.060	10.73	7.5	4.17
33471		50—	黄泥	60.32	16.57	6.44	0.034	11.48	6.4	4.07
33408	吴江震澤	20—40	潛育	80.50	8.95	3.00	0.034	3.25	15.2	4.72
33425	湖州毛安桥	45—75	潛育	62.22	17.00	5.16	0.034	8.51	6.2	5.19

白色,与白土层没有什么区别,而且連一般的犁底层也难于区分出来。分析結果也証实了这一点。

从表3中的胶粒部分的分析結果,也可以看出这种差别。白土层的鋁鉄率都在4以上,較上部土壤和下部的黄泥为高,說明含鉄矿物受到一定程度的破坏;大概也由于这个

表 3 白土层粒部分的全量组成

标 本 号 号	采集地点	土 层	阳离子交换量 (毫当量/100克土)	全量组成(%)			分 子 率	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
33489	武进漕桥	表土	48.95	44.05	23.64	10.18	3.18	3.63
33490		犁底	49.62	43.73	23.36	9.95	3.17	3.69
33491		白土	36.11	47.97	24.01	10.04	3.39	3.76
33492		黄泥	45.18	47.80	22.30	9.57	3.64	3.66
33493		黄泥	50.20	43.22	24.83	9.92	2.95	3.92
33469	宜兴南丰	白土	49.04	48.14	28.37	9.42	2.88	4.72
71		黄泥	50.58	45.07	19.58	9.99	3.91	3.08
33445	无锡渝州	犁底	43.26	45.83	24.13	9.58	3.24	3.95
33446		白土	46.92	46.43	25.90	8.22	3.09	4.96
33448		黄泥	53.28	44.05	23.14	10.23	3.25	3.55

原因,所以白土层胶粒部分的阳离子交换量,也较其他土层稍低。

顺便可以指出,三个剖面的胶粒部分的硅铝率相差不大,一般都在 3 左右,并且与下

表 4 白土及脱沼溼土春季时的氧化还原电位(4月中至5月中)

土壤种类	测定地点	深度 (厘米)	土 层	电位变化范围 (毫伏)	多次平均电位 (毫伏)
白 土	无锡梅村	0—14	表 土	600—620	610
		14—24	犁 底	505—525	515
		24—34	白 土	525—535	530
		34—52	黄 泥	555	555
		52—72	”	555—560	560
		72—	”	565—570	570
黄泥土	常熟辛庄	0—15	表 土	510—570	545
		15—35	犁 底	490—540	515
		35—80	黄 泥	530—550	545
后期脱沼溼土	常熟辛庄	0—10	表 土	—	500
		10—20	犁 底	320—400	350
		20—30	埋藏表土	—	545
		30—45	过 渡	—	550
		45—65	过 渡	—	545
		65—	潜 育	—	500
中期脱沼溼土	宜兴钱头	0—10	表 土	610—645	630
		10—20	犁 底	280—495	400
		20—30	过 渡	440—450	440
		30—55	埋藏表土	315—465	420
		55—65	过 渡	270—310	290
		65—85	潜 育	150—200	165
初期脱沼溼土	吴江庞山湖	0—12	表 土	640—660	650
		12—42	过 渡	340—485	420
		42—	潜 育	130—160	145

表5 脱沼泽土的一般化学性质

标本号	采集地点	深度(厘米)	土层	pH	有机质(%)	全氮(%)	P ₂ O ₅ (%)	阳离子交换量(毫当量/100克土)	C/N
33391	常熟辛庄	0—10	表土	7.60	4.27	0.23	0.20	22.40	12.9
33392		20—30	犁底	7.78	1.46	0.034	0.22	18.42	11.9
33393		30—60	埋藏表土	7.70	4.62	0.13	0.21	22.85	24.2
33406	吴江震澤	0—11	表土	6.07	6.24	0.28	0.19	14.60	15.1
33407		11—15	犁底	7.20	2.67	0.18	0.15	14.16	10.1
33408		20—40	潜育	8.00	—	0.015	0.076	6.86	—
33409		40—120	潜育	7.90	0.26	0.016	—	4.17	11.0
33410		120—160	潜育	7.55	0.40	0.026	—	5.22	10.4
33423	湖州毛安桥	0—15	表土	6.20	3.48	0.18	0.19	14.99	13.1
33424		23—45	埋藏表土	7.40	3.74	0.13	0.11	12.66	19.5
33425		45—75	潜育	7.60	—	0.049	0.12	11.40	—
33426		75—105	潜育	7.70	0.66	0.046	—	10.33	10.6
33412	吴江庞山湖	0—10	表土	4.80	17.92	0.76	0.35	35.66	16.1
33413		10—23	过渡	4.50	9.19	0.34	—	32.64	18.3
33414		23—60	潜育	5.62	1.19	0.034	0.19	9.03	9.6

蜀物质的数值(3.07)相近^[1],说明二者具有相同的物质来源的可能性。阳离子交换量都在50毫当量左右,说明含有较多量的蒙脱石和伊利石型粘土矿物。

但是在与脱沼泽土的潜育层作比较时可以发现,两个潜育层的铝铁率都比白土层更高(表2),因此应该认为,白土虽然遭受过一定程度的还原淋溶作用,但是所遭受的程度,不象曾经长期渍水的沼泽土那样剧烈。

发生了这样的问题:白土曾经遭受过什么样的还原淋溶作用,是过去的老沼泽土的遗迹,还是现代水稻土形成过程的产物,或者是土壤水分侧向流动的结果,或者还有另外的原因?

3. 从一般情况看来,白土与太湖地区的一般脱沼泽土颇不相同。根据一些迹象来看,在太湖一带,过去的湖泊面积很大,在这些湖泊相对升高的过程中,都曾进行过不同程度的沼泽化过程;在某些局部地区,可以有两个或更多的埋藏沼泽表土。几个因素使太湖地区的地下水位逐渐相对降低:(1)天然的永久地下水位降低;(2)人为地将一个地区的地下水位降低,特别是解放以后;(3)沉积物质的增加;(4)塘泥、河泥的长期施用。因此总的说,太湖地区是在朝着脱沼泽过程的方向进行的。由于各地区水分状况的不同,这种脱沼泽过程所进行的程度,也很不相同。在春季时(4月中至5月中)所测定的土壤中的氧化还原电位,是这方面的一个重要指标(表4)。可以看出,白土剖面中的氧化还原电位情况,与排水良好的黄泥土(潜育性水稻土)非常相似,白土层中的电位也在500毫伏以上,而与各种类型的脱沼泽土很不相同。从剖面特征来看,各地的脱沼泽化土壤,都具有一个有机质比较多的沼泽表土,这个表土有的已埋藏在下面,有的还暴露在地表;沼泽表土的有机质有的已相当炭化,变为特有的灰紫色或紫黑色,有的还保留着水生植物的原有构造,成为群众所称的“草渣子土”。但是在各地的白土中,都没有看到过这种沼泽表土的遗迹;白土

下部的黄泥层中,也没有曾经遭受潜育过程的迹象。从化学性质来看,脱沼泽土的 C/N 比都比较高,各沼泽表土(无论埋藏或还暴露在地表)的 C/N 比都在12以上,说明有机质的分解还不是完全的;但是白土各土层中的 C/N 比和排水良好的黄泥土一样,都已接近于10(表7)。因此,虽然白土层以上各土层中曾经进行过一定时期的潜育过程的可能性是存在着的,但是很难认为,白土的形成是由于沼泽过程的作用所致。

4. 关于侧向流动的水分形成白土的说法,很难使人认为是充分的根据的。不错,白土层下的黄泥层,使水分很难渗透,根据我们的田间测定,在使用同一个仪器时,白土层对水分的渗透速度为最高每分钟 28.4 毫升,最低 6.2 毫升,而黄泥层则仅为最高 3.5 毫升,最低 1.3 毫升,因此两个土层中水分的渗透速度很不相同。但是由于在种植水稻的整个时期中,白土层并未为水分所饱和(表6),而从地形来看,整个地区基本上是平坦的,因此,很难想象出水分的侧向流动能够在白土的形成过程中起什么决定性的作用。

5. 如果白土是水稻土的形成过程的产物的话,似乎也不是现代过程的产物。根据理论上的推断和中国南方红壤性水稻土中的实际资料^[2],水稻土剖面中有两层可以发生铁、锰的淋失。在表层,由于种植水稻时大量有机还原物质的形成,使铁、锰被还原,而以离子状态或络合物的状态淋失,在南方各地往往可以看到水稻土的表土颜色成为灰白色,即是这个原因。另外,如果地下水位相当高,则在潜育层内铁、锰也可随地下水分的流动而淋失。

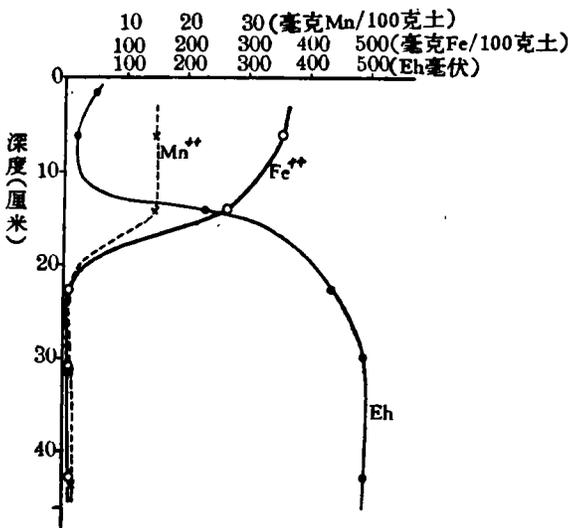


图2 白土剖面中的氧化还原状况 (7月30日测)

表6是武进漕桥乡运村附近一个白土剖面(试验田对照区)中氧化还原状况的季节变化情形,测定时铁、锰的提取剂是 pH 2.5 的 2.5% 硫酸铝,电位测定中所用的铂电极为直径 1 毫米,长 1 厘米,每次平衡时间一分钟,取多次的平均数值。图2为7月30日所测得的结果,用以表示剖面中的氧化还原状况。可以看出,还原过程主要发生在含有机质较多、施过一些有机肥料(草塘泥)、并且为水分所饱和的耕作表层。即紧接着耕作层的犁底层上部(10—13厘米),在整个水稻生长期中,也并未为水分所饱和;至于白土层和以下的黄泥层,在整个水稻生长季节,含水量仅约为 26% 左右,大致相当于土壤的饱和含水量的 60%,也就是说,还有 40% 左右的空隙是充满了土壤空气。另外,土壤的水分状况,仅为还原过程创造了条件,而还原状况的本身,则主要是决定于有机质分解过程中所产生的还原性物质的数量和其特性。所以在含有机质很少的白土层上部,一直到水稻将要收割时,才由灌水初期的 547 毫伏,逐渐降低到 278 毫伏,而白土层的中部,则仅逐渐降低到 437 毫伏。根据通常的概念,278 毫伏仅相当于 rH 24 (以 pH 7.5 计算),不能认为是强烈的还原情况。铁和锰的数值显示了同样的情形,仅在耕作表层,才在整个水稻生长期中有大量的

表 6 白土中氧化还原状况的季节变化

土 层	深度 (厘米)	项 目	6 月 10 日	6 月 19 日	6 月 30 日	7 月 11 日	7 月 30 日	9 月 7 日	10 月 3 日	11 月 1 日
表土	5—7	水分(%)		43.6	39	44.7	48.4	—	46.0	40.5
		代换性 Fe ⁺⁺⁺		3.6	23.4	180	355	357	62.0	21.2
		代换性 Mn ⁺⁺⁺		4.5	11.6	18.9	15.3	11.5	12.3	4.0
		电位 ***	620	239	205	71	21	60	330	—
犁底层 上部	10—13	水分(%)		26.0	35	27.0	41.6	37.0	37.8	37.1
		代换性 Fe ⁺⁺		3.2	1.6	1.5	267	235	190	191
		代换性 Mn ⁺⁺		4.5	4.6	8.7	15.0	15.3	12.7	10.3
		电位	575	465	360	306	228	137	189	—
白土层 上部	20—23	水分(%)		—	20	26.3	26.1	—	26.8	26.3
		代换性 Fe ⁺⁺		0	0.7	1.3	1.6	2.6	1.2	65.0
		代换性 Mn ⁺⁺		0.7	1.0	0.9	1.0	13.5	4.5	14.7
		电位	575	547	477	—	435	407	278	—
白土层 中部	30 土	水分(%)		—	—	26.3	28.9	—	26.1	25.7
		代换性 Fe ⁺⁺		—	—	1.3	1.3	1.8	1.4	4.2
		代换性 Mn ⁺⁺		—	—	0.9	1.0	2.0	2.0	1.3
		电位	575	—	—	525	488	449	437	—
黄泥层 上部	40—45	水分(%)		—	26.0	30.5	33.1	26.4	29.1	31.3
		代换性 Fe ⁺⁺		—	1.2	1.7	1.1	1.4	1.0	2.9
		代换性 Mn ⁺⁺		—	0	0.3	1.1	1.6	1.5	1.0
		电位	577	—	525	494	488	449	531	—

* 单位为毫克/100 克干土。

** 单位为毫克/100 克干土。

*** 单位为毫伏。

代换性(包括水溶性)铁、锰出现;犁底层上部到水稻生长中期(7月底),白土层上部到水稻生长后期(11月),才承受了上部淋下的有机还原物质的影响。白土层中部在水稻的整个生长时期中,只有很少量的代换性铁、锰出现。这些结果一方面说明了在灌水种植水稻的情况下,确有还原性物质(包括铁、锰)逐渐下淋,但是另一方面,也说明了在太湖地区,在现代的条件下,主要是在表土发生铁、锰的还原淋失现象,而白土层本身,则已基本不再进行这个过程。由于在大多数的情况下,白土层都出现于20—30厘米以下,所以很难想象白土的形成是由于现代水稻土过程的结果。但是应该说,白土的表土的肥力较低,这主要是由于在现代的条件下,耕作施肥较粗放所致。

6. 因此,关于形成白土的真正原因,目前还不能认为是已经清楚了。看来,几个特殊的情况很值得注意。从白土层起向上,时常可以发现一些砖瓦碎块,而黄泥层中则从来没有发现过砖瓦。这说明从白土层起,都受过人为耕作的影响。全土层(包括白土层)中都有铁子,而以黄泥层上部为最多。这说明土壤受过一定时期的干湿交替的影响。黄泥层的土块表面几乎全为灰紫色的胶膜所复被,而且愈上部愈多。这说明承受了上层淋下的物质。从历史材料来看,太湖一带过去曾经受过多水泛滥的影响。综合这些现象,可以暂时假定,在质地较粘的黄泥沉积以后,又重新沉积了一些质地较轻的物质,并且

可能还不是一次的沉积,在这些物质上,开始了耕作。由于这些新物质的质地较轻,含铁量较少,所以较短时期的表面潜育过程即可导致白土层的形成。看来,洪水或湖水的暂时停留,可能造成短期的地表潜育过程,这种过程与太湖一带的长期沼泽化过程不同。自然,灌溉水也可起有作用。在这方面,机械组成的排列特点,有助于白土的形成。因为黄泥层不易透水,所以其上部便易于形成一个水分的潜积层。这与东北的白浆土和湖北中部的白鳝泥,有着相似之点。但是应该说明,两次沉积物质的不同,仅为白土的形成创造了有利条件,而并不是所有的白土都需要这样的质地排列。在无锡溇州、宜兴埝头和宜兴城东北地区,都曾看到有从比较粘重的土壤(相当于上述的黄泥层)直接发育成白土的例子;另一方面,在江西波阳三庙前地区,也有大片与白土剖面相似的土壤,而其质地则上下层非常一致,在1米以内,含胶粒均在14%左右。

为什么白土的形成与施肥有一定的关系?这是一个很有意义的问题。在太湖流域,河泥是主要的肥料来源之一。在施肥较多的地区,一方面由于表土经常承接了较多的养分补充,所以肥力较高;另一方面,河泥的经常施用可以将过去已形成的白土层压下,而成为所谓“白土心”。

二、白土的低产原因

过去白土田的水稻和小麦产量均低,是由于它有着与其他土壤共同的原因:耕作层浅,施肥量少,密植程度不够。但为什么与同一地区的其他土壤比较起来,白土的产量特别低?这只能从白土本身的特性中去寻找。

白土田低产的特殊原因,可以归纳为三个:(1)有效养分含量少;(2)物理性质不良;(3)保持养分的能力较差。现在分别讨论如下:

(1)有效养分含量少:表7为几个代表性白土剖面的一般肥力情况,表8为其有效性钾含量的情况,为了比较起见,表中也列出了同一地区肥力较高的黄泥土或改良过的白土(鳝血白土)的分析结果。可以说,无论从那个指标来看,白土的肥力都是很低的。

先说有机质。两个肥力较低的白土,表土的有机质含量仅为1%。表中的材料还说明,各剖面表土的有机质含量与其肥力水平成正相关,因为就过去产量看,四个白土剖面可以排列为下述次序:常熟大义>无锡溇州>武进漕桥>宜兴南丰,而表土有机质的含量,也正是按照这个次序。但是常熟肥力较高的黄泥土表土,有机质含量可达3%;武进漕桥一个与白土相距不过半里的已改良过的白土(鳝血白土),表土的有机质含量为2.17%,较未改良者的1.21%约高出七成。表土以下各土层的有机质含量更少,白土层仅为0.4%左右。我们知道,有机质在很多方面决定着土壤的肥力状况,因此白土的肥力较低,可以在这里找到答案。

主要由有机质所决定着的氮的含量,也说明了同样的情况。例如武进漕桥的白土表土,含氮仅为0.08%,而改良过的可达0.13%;宜兴南丰的白土表土,含氮量仅为0.066%,不能不认为是一个很低的数值。表土以下各土层的含氮量更少,全部氮素中比较易为植物吸收的水解性氮含量,也表现了同样的差别情况。

在含磷量方面,从表7可以看出,常熟县白土表土含 P_2O_5 0.19%,而黄泥土表土含0.29%;武进县的白土表土含0.13%,而改良过的含0.16%。但是因为全部磷中只有一小

表7 白土的一般肥力情况

标本号	采集地点	深度(厘米)	土层	pH	有机质(%)	氮(N)		磷(P ₂ O ₅)		阳离子交换量(毫克/100克土)	C/N
						全量(%)	水解性(毫克/100克土)	全量(%)	植物易吸收性(毫克/100克土)		
33478	常熟大义	0—12	表土	6.05	2.08	0.14	2.04	0.19	0.96	17.13	10.1
33479		12—22	犁底	7.18	1.57	0.12		0.19		16.72	8.9
33480		22—31	过渡	7.77	0.64	0.043		0.15		14.94	10.1
33482		47—54	白土	8.03	0.36	0.047	0.90	0.096	0.68	13.80	5.2
33484		61—120	黄泥	7.98	0.47	0.038		0.18		19.88	8.9
33444	无锡溇州	0—12	表土	6.72	1.81	0.11	1.68	0.20	4.13	14.90	11.2
33445		12—20	犁底	7.50	1.34	0.088		0.19		14.75	10.4
33446		20—37	白土	7.75	0.36	0.026	0.92	0.12	1.12	10.26	9.5
33447		37—70	黄泥	7.40	0.50	0.040		0.076		19.65	8.5
33448		70—	黄泥	7.20	0.64	0.038		0.19		16.36	11.4
33489	武进漕桥	0—10	表土	5.95	1.21	0.079	2.62	0.13	0.48	13.73	10.4
33490		10—20	犁底	7.15	0.69	0.058	1.25	0.11	0.64	13.53	5.6
33491		20—40	白土	7.50	0.28	0.025	0.44	0.10	0.44	10.16	7.5
33492		40—55	黄泥	7.35	0.48	0.042	0.59	0.078	0.76	23.48	7.8
33493		55—	黄泥	7.30	0.41	0.047	0.91	0.10	0.56	25.96	6.0
33468	宜兴南丰	0—16	表土	7.30	1.00	0.066	1.61	0.13	1.08	10.41	10.3
33469		16—35	白土	7.80	0.41	0.028	0.98	0.11	1.28	10.32	10.0
33470		35—50	黄泥	7.70	0.61	0.051		0.10		22.36	8.0
33471		50—	黄泥	7.68	0.59	0.051		0.19		28.98	7.8
33456	武进漕桥 (改良过的白土)	0—10	表土	6.10	2.17	0.13		0.16	2.88	16.42	11.4
33457		10—22	犁底	7.00	1.74	0.12		0.15	0.88	16.46	9.9
33458		22—32	白土	7.75	0.41	0.038		0.12		12.58	7.4
33485	常熟大义 (黄泥土)	0—12	表土	5.89	2.18	0.14	3.23	0.29	4.52	17.86	10.6
33396	常熟辛庄 (黄泥土)	0—15	表土	7.00	3.21	0.18		0.29		16.91	12.0
		15—35	犁底	7.34	2.20	0.13		0.28		14.71	11.5
		35—80	底土	7.60	1.02	0.070		0.24		16.82	9.8

表 8 白土的有效性鉀含量情况

标 本 号 号	采集地点	土 层	鉀 含 量				
			全鉀 (K ₂ O%)	代 換 性 (毫当量/100克土)	非代換性有效态 (毫克 K ₂ O/100 克土)	植物易吸收性 (毫克 K ₂ O/100 克土)	
33478	常熟大义	表土	1.83	0.19	76.8	12.6	
33479		犁底	1.53	0.21			
33480		过渡	1.73				
33482		白土	1.48	0.13	31.7		
33484		黄泥	1.72	0.23			
33444	无锡溧州	表土	1.41	0.17	66.2	10.8	
33445		犁底	1.38	0.16			
33446		白土	1.14	0.15			
33447		黄泥	1.62	0.21	30.5		
33448		黄泥	2.04	0.24			
33489	武进漕桥	表土	1.37	0.18	57.6	14.4	
33490		犁底	1.37	0.14			47.4
33491		白土	1.23	0.13			
33492		黄泥	1.55	0.31	125.2		
33493		黄泥	1.62	0.31			126.3
33456	武进漕桥 (改良过的 白土)	表土	1.33		51.9	11.2	
33457		犁底	1.32	0.20			41.4
33458		白土	1.28	0.20	53.6	11.1	
33485	常熟大义 (黄泥土)	表土	1.99	0.35	143.9	20.3	
33396	常熟辛庄 (黄泥土)	表土	1.51	0.25			
		犁底	1.57				
		底土	1.75	0.26			

部分可以被植物利用,所以全磷量所反映的与肥力差别的关系,不象氮和有机质那样明显。用生物方法所测定的“植物易吸收性磷”,更能反映出这种差别。“植物易吸收性”磷和钾的数量是按下法测定的:称干土 250 克,置结晶皿中,皿底有同量的石英砂,种已发芽的种子 100 粒。为了保证充分的氮的供给,每皿加入 0.5 克硫酸铵。水稻生长 23 天后,将土和砂洗去,进行化学分析。从表 7 中的结果可以看出,除无锡溧州白土表土所能供给的磷量较多以外,其他三个白土表土仅能供给 1 毫克左右或更少(每 100 克土壤),白土层所能供给的磷量更低。但是较肥沃的土壤所能供给的磷量则在 2.88—4.52 毫克。这虽然仅是相对数值,但也在一定程度上说明问题。

表 8 中关于有效性钾的测定结果显示在代换性钾和非代换性有效态钾方面,白土也是较肥沃土壤含得少的,仅仅因为只种了一次水稻幼苗,所以植物易吸收性钾量的差别不大明显。但是在考虑长期施肥问题的时候,这个因素也是必须考虑的。

上述的分析结果在盆栽试验中得到了证明。图 3 示常熟大义白土(在各地区的白土中是比较好的)表土中的水稻生长情况,图 4 为白土层土壤中的水稻生长情况。表 9 和表 10 为水稻收割后的产量结果。试验时用土 6.5 公斤,以硫酸铵、磷酸一钙和硫酸钾的状态

加入 N、 P_2O_5 和 K_2O 各 1.0 克。对于表土,在单独施用时,氮肥的效果很显著,磷肥和钾肥的效果不明显。但是当与氮肥配合施用时,磷肥和钾肥也在一定程度上显示了增产效果。例如在不施肥时,水稻地上部分总重为 51.8 克,施氮肥时为 88.2 克,施氮钾时为 94.4 克,施氮磷时为 123.2 克,施氮磷钾时为 135.7 克。表 10 中的结果,更鲜明地说明了白土

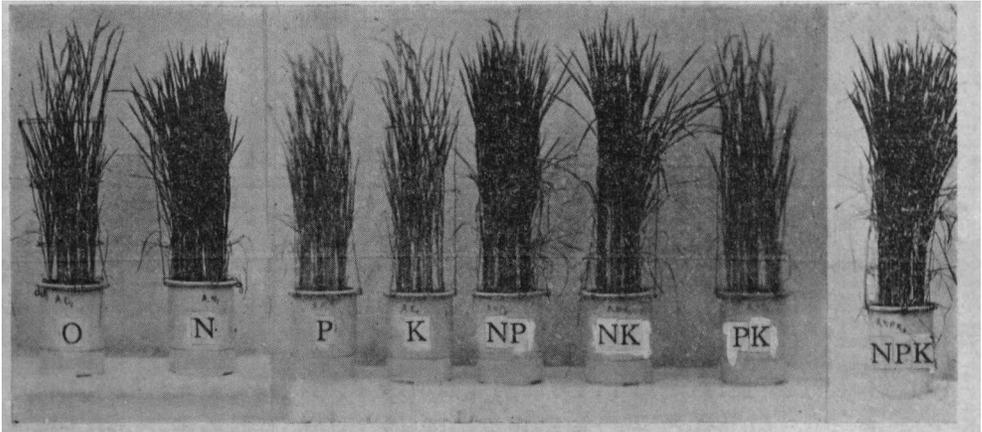


图 3 白土盆栽施肥试验(表土)

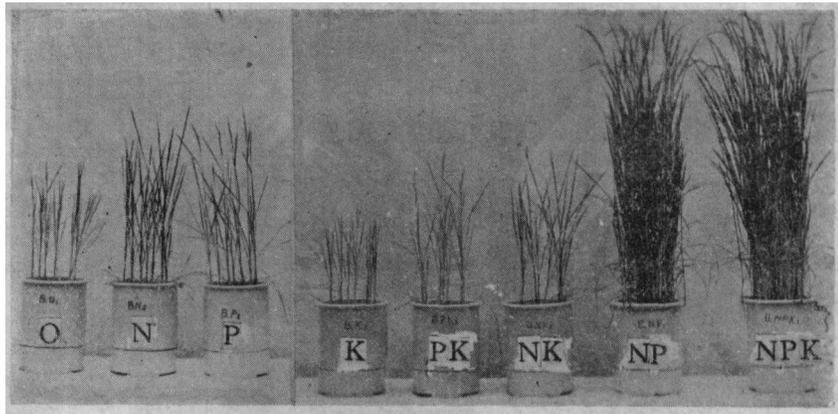


图 4 白土盆栽施肥试验(白土层)

层的缺肥情况。在这层中,氮和磷都极端缺乏,以致在缺少了二者中的任何一种时,水稻就生长极差,即使施用其他肥料,也几乎看不出增产效果。例如不施肥时水稻地上部分的总重为 5.2 克,施氮时为 9.2 克,施磷时为 10.2 克,但在施氮磷时,则可猛增至 96.7 克,在氮

表 9 表土对肥料的反应(水稻品种:八五三)

处 理	每株穗数	每穗粒数	茎秆(克/盆)	籽实(克/盆)	总重(克/盆)
对 照	3:3	39	27.7	24.1	51.8
N	3.8	67	47.7	40.5	88.2
P	3.1	40	32.1	24.3	56.4
K	2.1	44	28.8	22.5	51.3
NP	5.5	53	78.0	45.2	123.2
NK	3.8	68	55.0	39.4	94.4
PK	2.9	47	34.8	23.1	57.9
NPK	5.9	49	88.3	47.4	135.7

表 10 白土层土壤对肥料的反应(水稻品种:八五三)

处 理	每株穗数	每穗粒数	茎秆(克/盆)	籽实(克/盆)	总重(克/盆)
对 照	1.0	11	3.3	1.9	5.2
N	1.0	17	6.0	3.2	9.2
P	1.0	11	6.1	4.1	10.2
K	1.0	8	3.6	1.6	5.2
NP	4.1	50	60.7	36.0	96.7
NK	1.0	21	5.0	2.6	7.6
PK	1.0	14	4.8	2.3	7.1
NPK	4.6	61	78.5	46.8	125.3

磷钾肥共同施用,可达 125.3 克。

总结起来,可以说,白土的各层都极端缺乏氮素,白土层还极端缺磷。在生产水平較低的情况下,钾的问题比較不突出,但是在氮磷肥料供应充分,生产水平提高时,钾肥也是应该注意的一个问题。

(2) 物理性质不良:这是由于两方面的原因所造成:有机质少,无机胶体的含量也較低。农民所普遍反映的“淀煞”或“淀僵”现象,就是这方面的鲜明写照。由于土壤的结构不好,易于板结,就使水稻根部不易生长。对于小麦,这方面的影响就更大一些,因为小麦所需要的土壤结构情况和通气情况更为严格。尤其是白土层,结构更为紧密,对小麦根伸长更为不利。在一般情况下,白土中水稻产量可达其他土壤的三分之二到四分之三,而小麦产量仅为其他土壤的一半或者更低,可能就是由于这个原因。

(3) 保肥力差:这也是由于有机胶体和无机胶体較少所造成的,因为胶体愈多,所能保持的养分数量也愈多。例如武进漕桥的白土表土,阳离子交换量为每 100 克土壤中 13.73 毫当量,白土层仅为 10.16 毫当量;而改良过的白土表土,可达 16.42 毫当量。这在一定程度上也会影响其肥力水平。

上述三个因素中,第一个因素是主要的;第二个因素也可起有相当重要的作用,尤其是在种植小麦或其他早作的时候;第三个因素的作用比較次要一些。这在拟定改良措施的时候,具有重要意义。还有一个与此相关的问题:如上所述,白土层在各方面来说都是很不好的,但是由于它处在比較下层,那么它对产量的影响到底有多大?在农民中,这方面的意见很不一致。在我们看来,白土田的产量低,当然主要是由于表土肥力較低和物理性质不良所致,但是由于白土层的特別低劣的肥力条件和相当浅的出现深度(一般約在 25 厘米),不会对产量沒有影响,特别是对于需要深根的作物。

上述的对白土低产原因的估计,也符合农民所反映的实际情况。各地的农民都反映,白土中的水稻在插秧后回青慢,分蘖少,生长不良。但是在生长后期,缺肥的现象更为严重,以致水稻的粒数少,千粒重低,空壳多。这一方面说明土壤中的养分在水稻生长后期更为缺乏;另一方面也说明,在水稻生长后期时,較深的根接触到了养分更为缺乏的下层土壤,以致水稻的生长状况,表现了与一般肥沃的土壤更为显著的差别。

三、白土改良问题

根据上述对于白土低产原因的估计,即主要是由于缺乏养分,其次是物理性质不良和

保持养分的能力较差,所以我们在武进县选择了一块代表性较大的白土,与农民一道进行了改良试验。试验田系在武进县东南 27 公里的漕桥乡运村种猪繁殖场,附近有大片面积的低产白土。该场所地的农场社,共有白土约 2,000 亩,占全部耕地面积 5,600 亩中的 36%。白土中水稻产量过去仅 200—300 斤,小麦仅收 20—30 斤,而该地区较好的土壤(豎头黄土),则可收水稻 500 多斤,小麦 120—130 斤。试验田是该地区白土中的较差者,过去水稻仅收 200 斤左右。从表 7 中的分析结果可以看出,表土的 pH 为 5.95,有机质为 1.21%,全氮为 0.079%,水解性氮为每 100 克土壤中 2.62 毫克,阳离子交换量为每 100 克土壤中 13.73 毫当量,说明肥力极低。

试验设计时根据场内当时现有肥料条件,共分四个处理。将试验田划成四块,每块半亩,第一块为普通耕作施肥区,翻耕 3.5 寸,施草塘泥 50 担,相当于过去的施肥习惯。第四块是为了比较各种化学肥料的效果,其中又分为施磷钾和施氮磷钾两种。第二块为重肥区,深耕 6.5 寸。第三块在深耕重肥的基础上,又加黄泥 50 担,目的是增加表土的保肥力;黄泥系取自邻近的小沟中,其阳离子交换量为每 100 克土中 25.96 毫当量,约为表土的一倍。

在试验过程中,由于肥料中三要素的比例不当,与氮肥的数量比较起来,磷钾的数量显得过少;更由于 9 月初刚抽穗时一次台风引起了重肥区水稻的大半倒伏,所以产量已无法统计。但是从图 5 的生长状况和表 11 中的几个主要农艺性状来看,如果不是台风引起

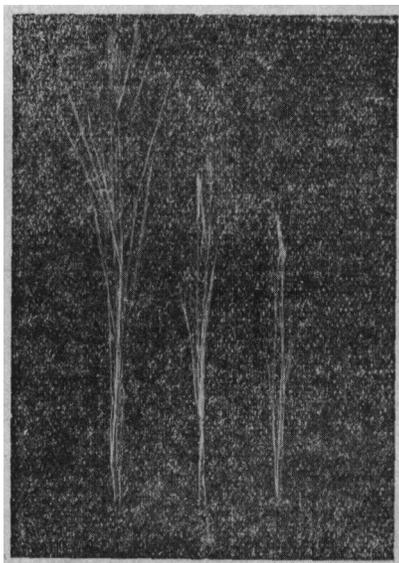


图 5 试验田的水稻(乳熟期)
左:重肥区 中:普通施肥加 NPK 区 右:普通施肥区

倒伏,则重肥区的产量可以约为对照区的三倍。这说明在施用大量肥料的情况下,低产白土是可以改良成高产土壤的。与盆栽试验中一样,在不施氮肥时,单纯磷钾肥料的施用未显示出增产效果。

施肥情况不仅影响到水稻的产量,而且也影响到水稻体中的养分含量发生重大影响。从表 12 中的结果可以看出,在施用多量肥料的情况下,在任一生长时期中,水稻茎叶中的

表 11 白土改良試驗中水稻的几个主要農藝性狀

处 理	平均高度(厘米)	每株平均穗数	每穗平均粒数	每株平均粒数	莖叶重(克/株)
普通施肥区	95	6.0	42.8	257	2.27
加 PK 区	95	5.2	45.1	235	—
加 NPK 区	105	5.4	51.6	279	—
重 肥 区	130	7.1	117.0	831	3.80

N , P_2O_5 和 K_2O 的含量都比对照区高得多;在单纯施用化学肥料时,也可使水稻体中的养分含量增加。水稻生长初期重肥区内的水稻含硅量特别高,是由于叶子与茎秆的比例较大所致。

表 12 施肥情况对水稻莖叶中化学成分的影响

取 样 时 期	生长期	肥 料 处 理	化 学 组 成 (%)					
			SiO_2	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	N
6月16日	秧苗期	—	10.07	0.39	0.62	3.75	0.47	2.35
7月12日	分蘖盛期	普通施肥	7.65	0.56	0.60	2.93	0.35	0.59
		普通施肥 加 N,P,K	7.59	0.46	0.60	4.38	0.56	1.90
		重 肥	15.07	0.78	—	7.01	1.08	3.39
7月26日	分蘖末期	普通施肥	9.30	0.77	0.40	2.15	0.27	1.03
		普通施肥 加 N,P,K	9.83	0.49	0.76	3.60	0.42	1.38
		重 肥	15.74	0.70	1.10	6.28	0.64	1.66
9月7日	灌浆初期	普通施肥	7.82	0.25	0.41	1.68	0.38	0.74
		普通施肥 加 N,P,K	8.23	0.32	0.45	2.08	0.50	0.98
		重 肥	8.04	0.34	0.62	2.87	0.53	0.90
9月20日	乳熟期	普通施肥	8.52	0.29	0.38	1.55	0.26	0.61
		普通施肥 加 N,P,K	8.58	0.31	0.45	1.88	0.31	0.92
		重 肥	6.37	0.32	0.46	2.35	0.36	1.16
11月3日	成熟期	普通施肥	12.17	0.43	—	1.81	0.15	0.42
		重 肥	12.93	0.46	0.62	1.75	0.23	0.97

可以根据表 12 中的分析结果和各生长时期中的单株重量,计算出在水稻的各个生长时期中,每单株的养分吸收量情况,如表 14。可以看出,水稻在灌浆以前,所吸收的养分数量最大,到灌浆以后至乳熟期的这段时期内,虽然每单株重量增加 50—70%,但是已经基本上不再吸收磷,而所吸收的氮和钾的数量也渐渐减少;在乳熟期以后,所吸收的养分恐怕更少。这说明了对于水稻早期追肥的重要性,特别是对于磷肥。表中的结果还显示,在施肥较多时,水稻生长初期所吸收的养分在整个生长时期所吸收的数量中,占有较大比重,特别是钾。从这一点可以想到,在施肥水平不同时,在各个生长时期所应施入的养分比例也应该不同。

表 13 表土中白土层土壤混入量对水稻生长的影响(水稻品种:黄壳早)

施肥水平	混入白土量 (%)	每株穗数	每穗粒数	茎秆(克/盆)	籽实(克/盆)	总 量	
						(克/盆)	(%)
重肥*	0	3.2	91	50.7	52.9	103.6	100
	15	2.8	91	49.2	44.5	93.7	90
	30	2.7	90	40.0	42.4	82.4	80
	45	2.7	90	36.0	42.6	78.6	76
轻肥**	0	2.6	87	33.7	33.4	67.1	100
	15	2.0	89	30.3	32.1	62.4	93
	30	2.3	76	26.7	28.2	54.9	82
	45	1.6	87	22.4	25.8	48.2	72

* 以硫酸铵,磷酸氢钾和硫酸钾的状态,每盆中加入 N, P_2O_5 和 K_2O 各 1 克。

** 重肥区用量的四分之一。

表 14 水稻不同生长期中对养分的吸收情况

肥料处理	取样时间	生长期	茎叶重 (克/株)	养分含量 (毫克/单株)		
				N	P_2O_5	K_2O
普通施肥	6月14日	秧苗期	0.066	1.6	0.31	2.5
	7月12日	分蘖盛期	0.36	2.1	1.26	10.6
	9月7日	灌浆初期	1.35	10.0	5.13	22.7
	9月20日	乳熟期	2.27	13.9	5.90	35.2
重肥	6月14日	秧苗期	0.066	1.6	0.31	2.5
	7月12日	分蘖盛期	0.48	5.0	5.18	33.6
	9月7日	灌浆初期	2.57	29.8	13.62	73.5
	9月20日	乳熟期	3.80	36.8	13.70	89.6

关于农民改良白土的经验和我们对于白土改良的具体意见,已在另一小册子^[1]中作了详细的叙述,所以此处不拟详谈。总的说,深耕和施肥都不可缺少。从表 13 中的盆栽试验结果可以看出,既然在施用相当数量化学肥料的情况下,表土层中混入白土层土壤,也可导致产量的降低,而且混入量愈多,产量愈低。所以除非施有大量肥料,在深耕时不应将白土层翻上。考虑到白土层下的黄泥层既含有较多的矿质养分,又具有较大的阳离子交换性质,在条件许可的时候,可以考虑将一部分黄泥翻上与白土层混合的深耕方法。在施肥方面,难于提出一个确切的数量,但是应该指出,大量有机肥料的施用是必要的。为了创造比较肥沃的土壤,并且其本身又具有较好的保肥力,在改良过后,表层的有机质含量应该维持在 2.5% 以上,阳离子交换量应该维持在 18 毫当量以上。

摘 要

根据研究结果,认为太湖地区的低产白土,曾经遭受过一定程度的表面潜育过程。但是白土层的出现,并不是现代水稻土成土过程的产物,而且这种白土的特性,又与太湖地区的一般脱沼泽土不同。

这种白土的低产原因,是由于施肥过少,因而有效养分,特别是氮和磷比较缺乏所致。

物理性质不良也可起有一定影响。由于有机质含量和胶体含量都较少，所以保蓄养分的能力也较差。

通过田间试验证明，深耕结合施用大量有机肥料，可以变低产为高产，在一次改良措施后，水稻即可增产一倍以上。

参 考 文 献

- [1] 于天仁:1950.南京下蜀层土壤的化学组成。中国土壤学会会志 1(2): 83—90。
- [2] 丁昌璞、于天仁:1958.水稻土中氧化还原过程的研究。IV. 红壤性水稻土中铁锰的活动性。土壤学报 6(2): 99—107。
- [3] 土壤研究所:1959.怎样改良冷浸田和白土。科学出版社。
- [4] 于天仁、刘婉兰:1957.水稻土中氧化还原过程的研究。III. 氧化还原条件对水稻生长的影响,土壤学报 5(4): 292—304。

STUDIES ON THE INFERTILE "WHITE SOIL" IN TAI LAKE REGION

T. J. Yü et al.

(*Institute of Pedology, Academia Sinica*)

(Summary)

Field observations and laboratory studies revealed that the "white soil" in Tai Lake region was formed as a result of surface water-logging. The iron content of the whole soil and the clay fraction in the "white horizon" at a depth of from about 25 cm to 40 cm was rather low, and as a consequence the alumina/iron oxide ratio of the "White Horizon" was high as compared with other horizons. The soil differed from the "degraded paddy soil" of Japan in that it was not a result of present-time formation.

The infertility of the soil was found to be due chiefly to the lack of available nitrogen and phosphorus, especially in the "white horizon". Field experiment revealed that the application of large amount of manures and fertilizers could increase the yield of rice by about three times as compared with the control treatment.