

关于水稻土的次生潜育化问题

龚子同 韦启璠 黄 钺 吴志东

(中国科学院南京土壤研究所)

水稻土形成于各种气候条件下,发育于各种不同的母质上,性质千变万化。但不管怎样,氧化还原交替过程是其共同的特点。除这一主要成土过程外,还有一些附加过程,其中最主要的是潜育过程。这一水成土所特有的过程对水稻土的物理、化学和生物学特性,有着一系列深刻的影响。在实践中,我们也深感这一过程的重要性。因此,作者拟就水稻土的潜育过程,特别是人为作用下的潜育过程作一粗略的讨论,并提出水稻土次生潜育化的问题,供研究讨论。

一、水稻土的潜育作用

(一) 不同土壤中的潜育作用

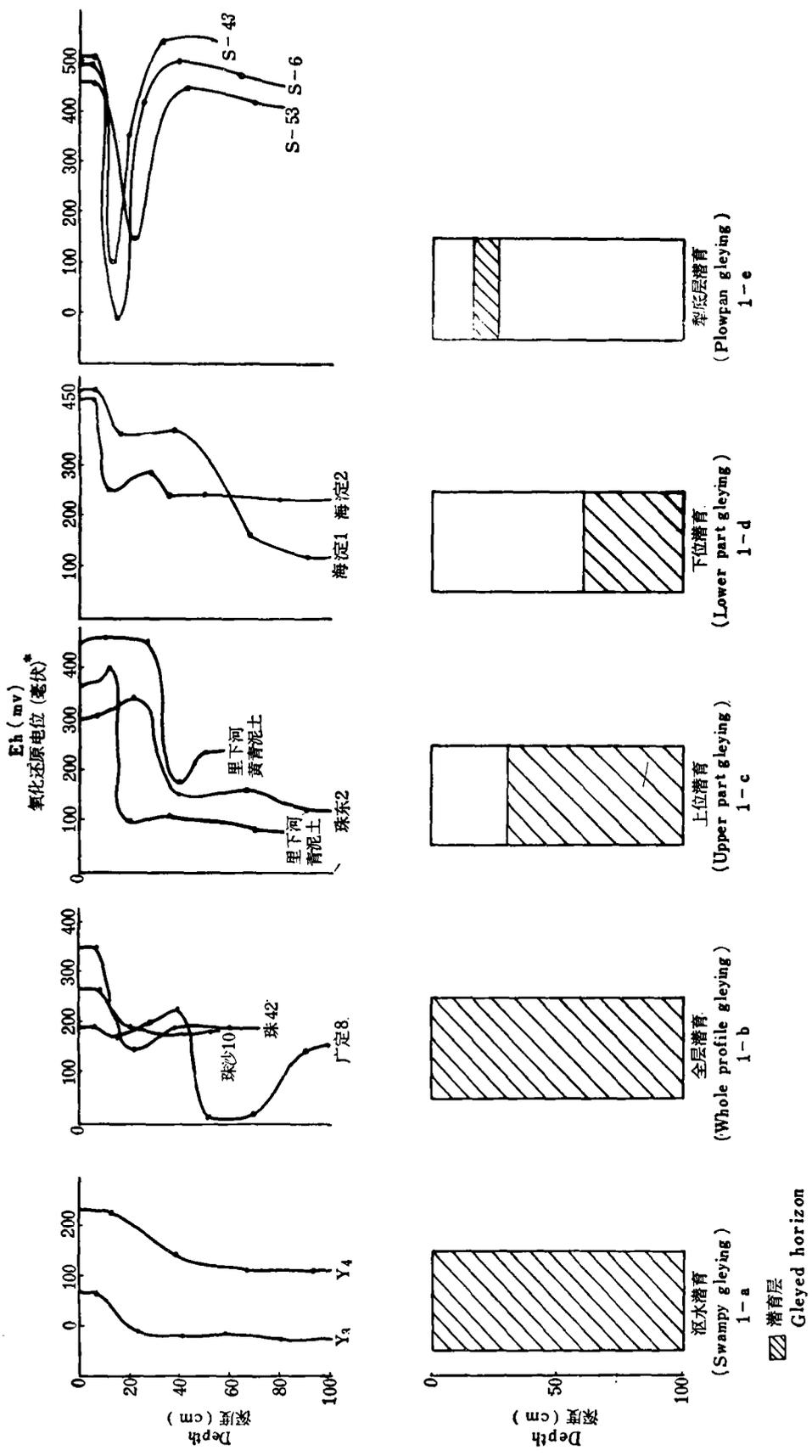
潜育作用是所有水成土共有的。沼泽土是泥炭积累和潜育过程共同的产物。潜育土与沼泽土一样具有潜育过程,不同的是泥炭化作用较弱。草甸土通常也伴有潜育过程,但显然更弱。至于水稻土,潜育过程并非其特有的过程。只有氧化过程当然不能成为水稻土,但如只有以还原作用为特点的潜育过程,那么形成的只是潜育土,而不是水稻土。我国土壤学者提出的水耕熟化过程^[2],日本学者(Okazaki, M. and Wada, H.)^[24]谈到的还原淋溶氧化淀积以及荷兰学者 Brinkman, R.^[20]提出的亚铁分解作用(Ferrollysis),都强调氧化还原交替过程。这也是水稻土和其他水成土的区别所在。一般来说,水稻土中的潜育层是其前身沼泽土、潜育土或草甸沼泽土所残留的。也就是说,这一过程正在向着减弱的方向发展。但如人为的灌溉不当和管理不善,这一过程也可能加强。但是不管残留的还是发展着的潜育过程在水稻土形成中都是不能忽视的。

(二) 潜育过程中元素迁移特点

潜育过程,有的称为灰粘化过程,也有的称为潜水离铁作用。对此已很早引起各国土壤学者的注意。早在1905年俄国学者 Г. Н. Высоцкий^[26]就已提出了潜育作用中物质迁移的特点。他认为潜育作用下,铁的淋失特别多,铝的淋失甚少,硅酸一般是积累的。此后,许多学者相继进行了许多工作^[19,22,23,27-30]。近来,一些学者注意探讨假潜育土和潜育土的异同^[21,25]。但结合水稻土讨论潜育过程的谈得不多。

我国学者熊毅^[18]很早联系水稻土的形成谈到潜育作用。四十年代沈粹培、陈家坊^[3]对

本文承熊毅、李庆逵教授斧正,参加工作的还有陈志诚、乙榴玉、教剑英、欧阳洸、钱承樑、赵文君等同志,在桃源县工作期间承桃源县综考队和桃源县农业局支持和协助,土壤微切片由曹升康同志制备和鉴定。



注: * 为水稻收获后测定 (determined in dry-farming season)

图 1 潜育化植稻土壤的图示
 Fig. 1 Patterns of different gleying paddy soils

潜育层和潜育层进行了对比研究后认为,潜育层 SiO_2 含量比表土高, Fe_2O_3 则比表土低;潜育层恰好相反。这表明潜育层有铁的损失,但游离铁含量却以潜育层最高。侯光炯、马溶之^[7]等在这方面作了许多细致的观察。

五十年代后,曾昭顺^[16]结合白浆土,于天仁^[1]、徐琪^[6]结合白土,张俊民^[14]结合包浆土,雷文进^[17]结合沅田土壤以及曹升庚^[15]结合红壤性水稻土,对潜育作用作了进一步的研究。我们的资料^[10]也表明,潜育性水稻土渗漏水中的 Fe^{++} 对比的明显要高,潜育层粘粒部份的离铁作用也是很明显的。但是,这涉及的往往只是铁的移动,而由此引起其他元素的变化则反映不出来。近年来^[2],我们根据土壤和土壤渗漏水中元素的含量,分别计算了红壤和水稻土淹水还原条件下元素迁移的特点。

红壤中元素迁移次序与 B. B. 波雷诺夫所提出的大体相同。与红壤相比,水稻土淹水还原条件下,除 Fe、Mn 外, P、K 的迁移强度也大大增加。Ca、Mg 的迁移的绝对量也有增加。这就说明了在淹水还原条件下,铁的还原减少了土壤对磷的固定,提高了磷的活性,由于亚铁离子的增加,一部分阳离子被置换出来,从而增加了钾、钙、镁以及钠的淋失的可能性。同时,硅酸铁复盐被还原,也可增加硅的活性。最近的材料^[20]表明在潜育条件下,铝也并不是完全不动的。这样,从土壤地球化学角度,把一系列元素迁移与潜育过程联系起来,使潜育过程的内容更加广泛。

(三) 植稻土壤潜育状况的区分

根据土壤氧化还原状况,将植稻土壤中的潜育状况,大体上划分为下列五种。

1. 沅水潜育: 表面常年沅水, 通体水分饱和, 全剖面处于还原状态, 实际上全层潜育, 为 AG—G 剖面(图 1-a)。
2. 全层潜育: 全剖面水分饱和, 在水稻收获后, 表层处于接触空气的条件下, 除表层外均呈还原状态, 为 Ag—G 剖面(图 1-b)。
3. 上位潜育: 潜育层出现位置较高, 耕作层、犁底层以下即为潜育层, 即剖面上部呈氧化态, 而下部呈还原态, 为 A—P—G 剖面(图 1-c)。
4. 下位潜育: 耕作层、犁底层下已形成淀积层。潜育层出现于 50—60 厘米以下, 为 A—P—B—G 剖面(图 1-d)。
5. 犁底潜育: 犁底层呈潜育状态, 在剖面中按氧化层—还原层—氧化层的次序出现。底层或有或无潜育层, 视起源土壤而定。一般剖面结构为 A—Pg—B—G(C) (图 1-e)。

当然,这只是主要的几种,而不是全部。

二、水稻土的次生潜育化

(一) 对水稻土次生潜育化的理解

上述五种潜育类型中,下位潜育实际上已摆脱潜育性水稻土的范围。一般来说,沅水潜育、全层潜育和上位潜育都是残存的。而犁底潜育,除少量由潜育性水稻土脱沼泽而成外,大部份是由于灌溉不当、土壤管理不善所致。假如,前者叫作原生潜育,后者则可称

为“次生潜育化”。广义讲,凡是非潜育性水稻土演变为潜育性水稻土,或原有潜育性水稻土由于各种原因而潜育作用又复加强,均可称为次生潜育化。下面所谈及的主要是指犁底层潜育化的问题。

此种土壤形态上的特点是耕层以下有“青泥层”或次生潜育层,以符号Pg来表示。此层一般厚7—10厘米,通常呈蓝灰色,干时带灰白色。从土壤微切片(图版I、II)可见,此种土壤与相同地形、母质条件下的肥沃水稻土相比,结构状况显然较差。不论鱗血黄泥土、乌白土或乌山土的耕层均有许多由于根系活动而形成的孔洞,孔洞内均有动物粪粒,且多锈纹、锈斑或“鱗血”;而次生潜育化水稻土,土体比较致密,孔隙少,锈纹、锈斑也较少。而次乌山土(S-25)的次生潜育层,比耕作层更为致密,更少孔隙,通透性很差(图版II照片2-d)。

对于潜育性水稻土所存在的问题,“中国土壤”一书中已经提及,即水土温度低、有效养分缺乏以及还原物质积累等。次生潜育化水稻土的情况大体相似,不过成因不同,危害程度亦不完全相同。此种土壤孔隙中长期被水分所饱和,水的热容量大,不易升温,故在种植双季稻时,早稻前期迟发,后期可能贪青。由于水稻迟发,氮素的经济效益降低。就此种土壤本身而言,有效磷含量较低,同时,在还原条件下,也影响钾素的吸收。“青泥层”几乎不透水,土壤内部的化学和生物化学作用在还原条件下进行,使一些还原物质在土壤中积累起来。在水稻生长期间次生潜育化水稻土还原性铁可高达400毫克/100克土以上,水溶性铁也比正常的高。即使在旱季,次生潜育层的氧化还原电位都在200毫伏以下。

次生潜育化,有的地方叫“渍害”、“滞水”,有的地方叫“返沅”。在多雨的1977年春,我们在太湖地区调查发现不少犁底层发展为“青泥层”的受“渍害”的水稻土^[1]。1978—1979年,我们在湖南省桃源县发现犁底层发展为“青泥层”的水稻土更为广泛^[3]。据广东省湛江专区报道,那里受渍害的面积扩大到水田面积的50%^[3],湖北¹⁾、四川²⁾和上海³⁾也有这方面的报道。联系到六十年代初,作者之一在海南岛调查三季水稻连作时发现土壤还原性增强的情况,看来其实质也是一样的。实际上,次生潜育化的问题,不仅我国有,国外也有。日本在水稻和席草连作的情况下,潜育作用也在加剧^[4]。朝鲜在长期种植水稻的地区,土壤氧化层变浅,而还原层加厚的情况,也是潜育化造成的^[12]。但不论与过去还是与国外相比,都没有象我国现在这样广泛。因此,这是我国水利化和改制以后,措施未跟上而在水稻土肥力上出现的一个新问题。

(二) 次生潜育化水稻土的发生特点

次生潜育化水稻土和一般潜育化水稻土有某些类似之处。但由于次生潜育作用的强度和不同而有很大区别。从表1中 $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 率可见,次生潜育水稻土中也有硅的相对积累和铁的淋失,但如作用强度不大,这种现象也可能不明显。次生潜育层的全铁量可能较低,也可能不低,但该层及其上层活性铁占全铁之比反而较高。最明显的特点是,由于犁底层潜育化,所以还原性铁也以此层为最高。照例,在潜育

1) 李学恒等: 沛水县十月大队高产水稻土的研究,土壤学会1979年会。

2) 张先婉: 成都平原漕田发生类型的研究,土壤学会1979年会。

3) 冯恭衍, 1980: 对青泥层问题的几点认识。

表 1 次生潜育化水稻土的某些化学性质

Table 1 Some chemical properties of secondary gleying paddy soil

土号 Soil No.	地点 Locality	深度(厘米) Depth (cm)	发生层 Genetic horizon	烧失量(%) Loss on ignition	pH	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	P ₂ O ₅ %	活性铁(%) Active Fe % (Tamm's)	SiO ₂ Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	活性铁 全铁 Active Fe Total Fe × 100	还原性铁* 全铁 Reduced Fe* Total Fe × 100
桃 49 T-49	湖南桃源 县隆郊 Taoyuan, Hunan	0—12	A	6.70	6.1	68.22	14.19	6.06	1.94	0.12	0.81	29.97	8.17	19.1	0.28
		12—30	Pg	5.84	6.7	67.96	14.53	6.44	1.96	0.12	0.83	28.09	7.92	18.4	3.24
		30—40	BC	5.02	6.5	67.82	15.69	6.80	2.09	0.08	0.86	26.50	7.33	18.1	0.08
桃 43 T-43	湖南桃源 县隆郊 Taoyuan, Hunan	0—12	A	7.93	6.5	64.46	16.08	5.26	2.59	0.11	0.89	32.61	4.80	24.2	0.95
		15—28	Pg	6.44	7.0	65.58	16.18	5.23	2.65	0.08	0.66	33.39	4.86	18.0	5.44
		28—45	Bg	5.94	7.1	65.78	16.35	5.31	2.65	0.08	0.75	32.98	4.82	20.2	4.39
		45—60	B	6.13	7.2	65.31	15.36	7.29	2.22	0.09	0.54	21.92	3.04	10.6	0.11
80—90	Cg	6.78	7.2	61.59	18.32	7.78	1.95	0.07	0.37	21.05	3.70	6.8	0.08		
桃太 13 T-T-13	湖南桃源 县太平桥 Taoyuan, Hunan	0—15	A	7.37	6.4	69.39	13.48	4.46	2.41	0.10	0.51	41.40	4.73	16.3	0.48
		15—22	Pg	6.03	—	71.26	13.15	4.37	2.20	0.06	0.60	43.28	4.70	19.6	5.10
		22—48	Bg	4.24	6.5	75.16	11.98	3.91	2.24	0.04	0.43	51.06	4.78	15.7	4.97
		48—71	B	4.04	7.0	72.82	11.82	5.97	2.20	0.05	0.37	32.06	3.07	8.9	—
71—100	Bg	3.54	7.0	76.18	11.80	4.56	1.94	0.04	0.32	44.33	4.06	10.0	0.13		
桃太 14 T-T-14	湖南桃源 县太平桥 Taoyuan, Hunan	0—16	A	5.17	6.2	72.98	11.97	4.14	2.42	0.10	0.47	46.91	4.52	16.2	0.49
		16—22	P	4.75	6.2	72.40	12.48	4.45	2.43	0.08	0.49	43.82	4.37	15.7	0.28
		40—86	B	3.65	7.0	74.26	11.81	4.52	2.06	0.05	0.49	43.67	4.10	15.5	—
86—100	Bg	3.10	7.5	77.19	10.50	4.01	2.05	0.07	0.69	51.20	4.10	24.6	—		

* 0.1M Al₂(SO₄)₃ 提取 Extracted by 0.1M Al₂(SO₄)₃.

化条件下 P_2O_5 和 K_2O 有淋失,但这种水稻土的形成毕竟不同于单纯的潜育过程,由于人为的施肥活动,这种情况往往被掩盖了。

无定形硅在土壤中也有一定变化。是还原淋溶还是亚铁分解作用引起的尚待进一步研究,但这种现象是值得注意的。桃太 13 号和桃 43 号两个次生潜育水稻土剖面中,无定形硅均以剖面上部低,下部高为特点。从表 2 可知,湖南省的水稻土和江苏省的水稻土一样,不论是无定形硅本身还是无定形硅占全硅的比例,均可看出次生潜育化水稻土中无定形硅的明显减少,这和太湖地区发僵土壤有些类似^[9]。

从微量元素状况来看,锰的淋失明显。桃 43、桃太 13(表 3) 锰自剖面上部向下淋溶以及 Pg 层的淋失都非常清楚。但同处于第四周期的 Ni、Co、Cu 都不太明显,虽然 Co 的淋淀趋势与锰有某些相似。

表 2 次生潜育化水稻土中硅的含量

Table 2 Content of silicon in secondary gleying paddy soils

土号 Soil No.	地点 Locality	潜育特点 Gleying degree	土壤 (当地名称) Soil name	深度(厘米) Depth (cm)	全 SiO_2 (%) Total SiO_2 %(1)	无定形 SiO_2 (%) Amorphous Silica (2)	(2)/(1)×100
S-6	江苏无锡	次生潜育 Gleying	青乌白土	0—12	71.00	1.38	1.94
S-5	Jiangsu Wuxi	无次生潜育 Normal	乌白土	0—10	70.00	1.71	2.44
S-25	江苏昆山	次生潜育 Gleying	乌山土	0—14	73.15	0.35	0.48
S-24	Jiangsu Kunshan	无次生潜育 Normal	乌山土	0—18	72.00	0.74	1.02
桃太 13 T-T-13	湖南桃源	次生潜育 Gleying	黄泥田	0—12	69.38	0.33	0.48
桃太 14 T-T-14	Hunan Taoyuan	无次生潜育 Normal	黄泥田	0—16	72.98	0.53	0.73
桃 43 T-43	湖南桃源	次生潜育 Gleying	黑泥田	0—12	64.46	0.65	1.01
桃-44 T-44	Hunan Taoyuan	无次生潜育 Normal	沙泥田	0—9	69.78	1.04	1.49
桃太 1 T-T-1	湖南桃源	次生潜育 Gleying	青紫泥田	0—12	60.31	0.33	0.55
桃 49 T-49	Hunan Taoyuan	无次生潜育 Normal	紫泥田	0—12	71.60	2.03	2.84

* 0.5N NaOH 热提取—硅钼蓝法。

* Extracted by hot 0.5N NaOH.

对上述土壤中某些有效态养分测定结果(表 4)表明,有效态硼(沸水溶)、钼(草酸-草酸铵溶液)锌、铜(0.1N HCl)的含量都并不太高。值得注意的是土壤中全铜含量并不都低于世界平均含量,但有效铜含量很低,不知是否与铜的络合有关。

表 3 次生潜育化水稻土中某些微量元素含量

Table 3 Content of some microelements in secondary gleying paddy soils

土号 Soil No.	深度(厘米) Depth (cm)	发生层 Genetic horizon	Mn 毫克/100 克土 mg/100g soil	Ni	Co	Cu
				ppm		
桃 43 T-43	0—12	A	36.1	38.6	15.4	24.7
	15—28	Pg	33.6	37.6	15.4	23.3
	28—45	Bg	38.4	36.4	16.1	23.4
	45—60	B	138.9	35.4	19.3	18.5
	80—90	Bc	30.6	44.6	14.6	24.2
桃太 13 T-T-13	0—15	A	29.1	26.0	10.3	12.2
	15—22	Pg	25.8	25.0	9.1	10.7
	22—48	Bg	34.8	24.7	9.4	10.4
	48—71	B	194.3	23.6	12.2	9.1
	71—100	Bg	36.5	22.5	13.5	12.5
桃 49 T-49	0—12	A	42.4	33.1	17.6	21.5
	12—30	Pg	71.0	34.9	19.7	21.8
	30—40	B	79.7	36.7	16.6	23.6
桃太 16 T-T-16	0—11	A	24.6	26.1	10.6	11.8
	11—22	P	24.8	25.6	12.4	13.2
	40—86	B ₁	47.0	23.1	10.0	11.8
	86—100	B ₂	115.9	20.0	9.8	10.9

注：土号为“桃、桃太 (T、T-T)”者，均在湖南桃源县采集的标本(以下均同)。

Note: Soil samples “T”, “T-T” were collected from Taoyuan, Hunan.

表 4 次生潜育化水稻土某些有效态微量元素含量(ppm)

Table 4 Content of some available microelements in secondary gleying paddy soils (ppm)

土号 Soil No.	深度(厘米) Depth (cm)	发生层 Genetic horizon	B	Mo	Zn	Cu
桃太 11 T-T-11	0—15	A	0.38	0.10	1.1	0
	22—48	Bg	0.30	0.06	0.2	0
	55—60	B	0.18	0.08	0.1	0
	71—100	Bg	0.18	0.10	痕迹	0
桃 49 T-49	0—12	A	0.32	0.20	2.1	0.7
	12—20	Pg	0.26	0.22	1.2	0
	30—40	B	0.18	0.34	痕迹	0
桃 53 T-53	0—15	A	0.24	0.20	1.4	0.6
桃太 2 T-T-2	0—15	A	0.32	0.08	1.7	1.4
	15—25	Pg	0.14	0.10	0.3	痕迹
	40—50	B	0.16	0.10	0.3	0

(三) 次生潜育化水稻土的类型

水稻土形成过程是以氧化还原过程为特点。从这点出发，我们将水稻土划分为氧化

型,氧化还原型和还原型三个亚类,相当于我们以前所称的地表水型,良水型和地下水型。次生潜育化水稻土发育于各种类型水稻土上。兹分别加以叙述。

1. 氧化型水稻土的次生潜育特点。原先此种水稻土冬季全剖面呈氧化态。除耕层颜色稍暗外,整个剖面呈黄色或黄红色,尤其是淀积层以下。由于侧渗影响,或田面滞水,使之发生明显变化。次生潜育氧化型水稻土犁底层发展为“青泥层”,在冬季测定此层中还还原性 Fe^{++} 可高达 145.8 毫克/100 克土(表 5)。在“青泥层”下即为淀积层,未见 Bg 层。所以,一般“青泥层”较薄。整个来说,这一类型的面积较小。

2. 氧化还原型水稻土的次生潜育特点。原来剖面结构为 A—P—B—G,在次生潜育作用的影响下,犁底层变为“青泥层”。“青泥层”的潜育化程度是很不相同的。从形态上说,紫色母质上发育的颜色变化不明显,而页岩以及第四纪红色粘土上发育的比较明显。从还原物质含量看,轻度的还原性 Fe^{++} 只有 60—70 毫克/100 克土,强度的可达 200 毫

表 5 氧化型水稻土次生潜育的特点

Table 5 Some characteristics of secondary gleying oxidizing paddy soils

潜育特点 Gleying properties	土号 Soil No.	发生层 Horizon	深度(厘米) Depth (cm)	Fe ⁺⁺ Mn ⁺⁺	
				(毫克/100 克土) (mg/100g soil)	
次生潜育 Secondary gleying	桃 49 T-49	A	0—12	12.0	痕迹
		Pg	12—20	145.8	24.7
		BC	34—40	3.6	痕迹
无次生潜育 No secondary gleying	桃 48 T-48	A	0—12	2.5	痕迹
		P	12—20	6.0	痕迹
		BC	40—50	8.1	痕迹
次生潜育 Secondary gleying	桃 64 T-64	A	0—12	12.0	—
		Pg	15—25	90.1	39.0
		B	35—45	2.8	2.6
		BC	70—80	2.8	3.8
无次生潜育 No secondary gleying	桃 51 T-51	A	0—15	痕迹	—
		P	15—26	痕迹	2.7
		B	38—51	4.2	—
无次生潜育 No secondary gleying	桃 42 T-42	P	15—25	18.4	12.0

注: Fe、Mn 用 0.1M $Al_2(SO_4)_3$ 溶液提取。

克/100 克土(表 6)。就剖面发育而言,有的只有 Pg 层,如桃 50 号剖面;也有的还有 Bg 层,如桃 43 和桃太 11。相应的“青泥层”厚度有的仅 7—8 厘米左右,有的可达 30 厘米。其下为还原作用不强的 B 层,通常还有明显的锈纹、锈斑。这一类型土壤在次生潜育性水稻土中所占面积最大。

3. 还原型水稻土的潜育特点。还原型水稻土的特点是没有明显的犁底层,更没有典

型的B层。这是和氧化还原型水稻土的明显区别。次生潜育化的氧化还原型水稻土Pg层的还原性一般都比Bg层强；而还原型水稻土的G₂层的还原作用可能比G₁层强(表7),这

表6 氧化还原型水稻土次生潜育的特点

Table 6 Some characteristics of secondary gleying in redoxing paddy soils

潜育特点 Gleying properties	土 号 Soil No.	发生层 Genetic horizon	深度(厘米) Depth (cm)	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺
				(毫克/100克土)(mg/100g soil)	
次生潜育 Secondary gleying	桃 43 T-43	A	0—12	35.4	0.8
		Pg	15—28	198.8	17.9
		Bg	28—45	162.5	9.4
		B	45—60	4.8	痕迹
		Cg	80—90	4.6	3.1
无次生潜育 No-secondary gleying	桃 44 T-44	A	0—9	20.4	痕迹
		P	9—18	10.1	痕迹
		B ₁	25—35	4.4	痕迹
		B ₂	40—50	3.2	痕迹
		B	80—90	5.0	痕迹
无次生潜育 No-secondary gleying	桃 T-45A 桃 T-45B	A	0—15	4.6	痕迹
		P	15—20	4.5	痕迹
次生潜育 Secondary gleying	桃太 11 T-T-11	A	0—15	14.9	6.3
		Pg	15—22	155.7	7.6
		Bg	22—48	136.2	6.2
		B	48—71	痕迹	10.8
		Bc	71—100	4.3	5.6
次生潜育 Secondary gleying	桃太 12 T-T-12	A	0—16	13.8	—
		Pg	16—43	68.8	7.8
		B	43—53	痕迹	8.1
		B	70以下	2.6	10.0
次生潜育 Secondary gleying	桃太 13 T-T-13	A	0—14	14.8	6.0
		Pg	14—36	61.9	4.8
		B ₁	45—80	—	8.5
		B ₂	80→	痕迹	5.0
无次生潜育 No-secondary gleying	桃太 14 T-T-14	A	0—11	14.2	—
		P	11—22	8.8	2.0
		B	40—86	痕迹	—
次生潜育 Secondary gleying	桃 50 T-50	B	86—100	痕迹	—
		A	0—12	2.6	—
		Pg	18—26	107.5	8.6
次生潜育 Secondary gleying	桃 T-3 桃 T-4	B	40—50	19.1	—
		Pg	15—20	95.1	7.7
无次生潜育 No-secondary gleying	桃太 2 T-T-2	Pg	15—20	91.4	12.6
		A	0—15	13.5	3.9
		P	15—25	31.9	4.6
无次生潜育 No-secondary gleying	T-T-2	B	40—50	1.8	0.7

与地下水作用有密切关系。凡 G_1 层还原性比 G_2 层强的还原型水稻土有可能是灌溉不当引起的。

表 7 还原型水稻土的潜育特征

Table 7 Some characteristics of reducing paddy soils

潜育特点 Gleying properties	土号 Soil No.	发生层 Genetic horizon	深度(厘米) Depth (cm)	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺
				毫克/100 克土 (mg/100g soil)	
全 潜 Wholly gleying	桃太 1 T-T-1	Ag	0—16	6.4	12.2
		G_1	16—32	108.5	26.7
		G_2	32—75	149.3	17.1
全 潜 Wholly gleying	桃 69 T-69	Ag	0—16	82.4	2.4
		G_1	16—25	180.8	8.1
		G_2	25—43	199.7	痕迹
全 潜 Wholly gleying	桃太 8 T-T-8	Ag	0—12	35.7	9.9
		G_1	12—25	164.2	8.1
		G_2	25—50	149.3	7.6
全 潜 Wholly gleying	桃 70 T-70	Ag	0—18	12.4	3.7
		G_1	18—35	210.3	痕迹
		G_2	35—50	154.1	痕迹

由此看来, 次生潜育化水稻土可发育于各种地形和水文条件下。概括起来, 根据“青泥层”的状况, 可以划分为两个类型。一种是只有 P_g 层; 另一种紧接于 P_g 层之下, 还有 B_g 层的。前者为轻度的, 后者是强度的。也有一些虽然在形态上有所变化, 但其属性并没有重大变化的。

三、从土壤发生观点看土壤改良

次生潜育化水稻土成因是复杂的。但不外内因和外因两方面。内因方面首先是通透性不良。粘层或沙层的有无, 犁底层的孔隙性、地下水位高低以及小地形条件都影响土壤的通透性。实验表明, 土壤不渗漏时的氧化还原电位比适当渗漏时要低¹⁾。

其次是土壤有机质含量。根据对桃源 16 个“青泥层”的统计, 有机质含量平均为 2.3%, 标准差 0.47。我们的模拟试验表明, 在不渗漏情况下, 渍水加还原剂 (0.5—1% 葡萄糖) 与不加的比较, 红壤、赤红壤氧化还原电位降低 200 毫伏左右, 持续两星期, 在砖红壤上这种差别持续到 100 天以上。

除上述两个原因外, 也与土壤中铁的氧化物活化度 (活性铁占全铁%) 有关。从表 8 可见, 砖红壤、红壤、紫色土和赤红壤的铁、锰含量较高, 而其活化度均较水稻土为低。加还原剂渍水 100 天后全铁含量最低、活化度最高的水稻土的颜色几乎与“青泥层”无异。H. H.

1) 中国科学院南京土壤研究所, 1978 年年报。

Горбунов^[3] 认为, 在潜育条件下, 土壤颜色变化与非硅酸盐铁锰化合物含量有关, 这和我们的看法大体一致。

表 8 几种土壤泡水 100 天后土色的变化

Table 8 Changes in color of some soils before and after submerging

土 类 Soil type	母 质 Parent material	全量 Total (%)		活性部份* Active (%)		$\frac{(2)}{(1)} \times 100$	土色 Soil color	
		Fe ₂ O ₃ (1)	MnO	Fe ₂ O ₃ (2)	MnO		泡水前 Before submerging	泡水后 After submerging
砖红壤 Leterite	玄武岩 Basalt	16.16	0.24	0.46	0.130	2.85	10R3/3	5YR2/3
紫色土 Purple soil	紫色页岩 Purple shale	5.27	0.10	0.24	0.070	4.55	2.5YR3/3	5YR3/3
红 壤 Red earth	第四纪红土 Quaternary red earth	7.95	0.09	0.20	0.074	2.52	5YR4/6	10YR4/4
赤红壤 Lateritic soil	花岗岩 Granite	4.11	0.06	0.37	0.032	9.00	7.5YR4/3.5	10YR3/3
水稻土 Paddy soil	冲积物 Alluvium	3.51	0.04	0.66	0.017	18.80	2.5Y4/2	10Y4/1

* Tamm's.

但形成次生潜育化水稻土通常必须具有一定的外在条件。首先是排水不良, 如水利设施不配套、渠道渗漏等, 仅广东逐溪一县修运河以后增加潜育化水稻土 6 万亩, 一些强度次生潜育化水稻土的形成常与此有关, 冬春降水过多, 不适当的浸冬对此都有一定影

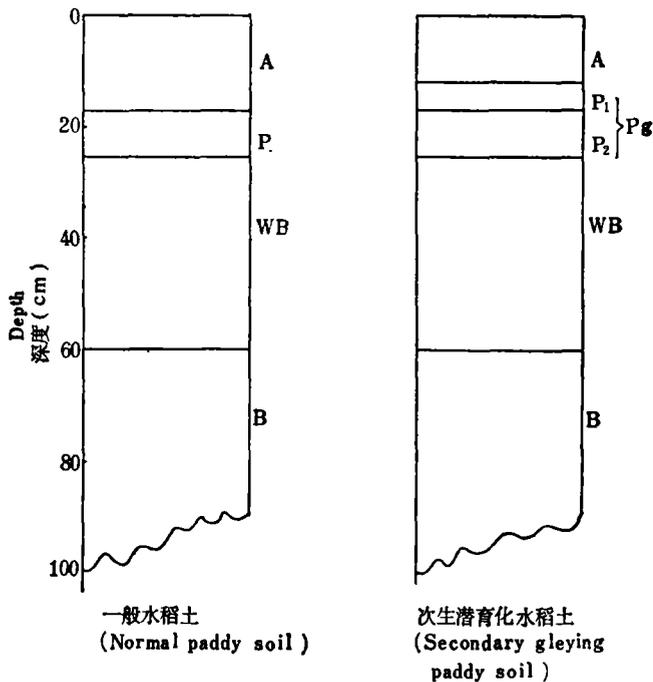


图 2 浅耕引起的次生潜育化剖面

Fig. 2 Secondary gleization resulted from shallow ploughing

响。其次是耕作制度不当,随着双季稻的推行,在措施跟不上时,一些地方次生潜育化水稻土面积激增。据观察³⁾在连续五年的轮作中,单季稻和旱作轮作中无“青泥层”形成,双三制中不同程度地出现“青泥层”,双季稻—紫云英轮作中“青泥层”最为严重。再次是浅耕,旋耕犁浅耕的结果,使耕作层之下形成新的犁底层,这样就加厚了原来的犁底层,恶化了土壤通透性,形成“青泥层”(图2)。后两者所形成的“青泥层”一般是轻度的。

由此可知,凡通透性不良、有机质含量较高、铁的活化度较高的土壤,在排水不良、耕作制不当或浅耕的情况下,较易形成次生潜育化水稻土。如果这样分析符合实际,那么,“对症下药”就可取得良好效果。

1. 水利措施。这是排除积水增加通透性的最直接的措施⁶⁾。假如以具有 A—P—B—G 剖面的氧化还原型水稻土最利于水稻生长的话,那么对水稻来说,地下水位应控制在 60 厘米左右以下,对于冬作应更深些。开沟的方式视地形、潜育化程度而定。通常采用的浅明沟、中鼠洞和下暗沟的排水措施是可行的。开深浅沟对打破“青泥层”也有作用²⁾。据测定³⁾,开沟排水后明显地改变了土壤水热状况,土壤中还原物质减少,水稻提早返青、分蘖和成熟,同时每穗粒数和千粒重增加。

2. 耕作措施。减少土壤中过多的水分,改善通气状况仅仅依靠水利措施还不够。据陈家坊的研究⁴⁾水稻土水分重量百分比由 54% 下降至 37% 时,土壤失水孔隙并未形成通气孔隙,而是消耗在土体收缩。土壤容重增加,土壤水分仍呈饱和状态。因此,要根本改善土壤通气状况,要有一个彻底回旱过程。从表 9 可见,将次生潜育层取回稍加风干,还原物质显著减少。由此看来,水旱轮作是消除次生潜育化的重要措施。据刘元昌等⁵⁾资料,在太湖地区通过一年回旱,可使“青泥层”消失,耕层的氧化还原状况显著改善。至于采取什么样的水旱轮作方式,应根据当地气候、劳力和肥料情况而定。

表 9 土壤风干后土壤中还原物质的变化

Table 9 Content changes of reducing matter in soils after air drying

土号 Soil No.	发生层 Horizon	深度(厘米) Depth (cm)	(1) 湿土 Moist		(2) 干土 Air-dried		(1)-(2) Difference	
			Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺
毫克/100 克土 mg/100g soil								
桃 43	Pg	15—28	198.8	17.9	49.5	4.9	149.3	13.0
T-43	Bg	28—45	162.5	9.4	21.8	—	140.7	—
桃 49	Pg	12—30	145.8	痕迹	10.0	—	135.8	—
T-49								
桃太 11	Bg	22—48	136.2	6.2	51.5	1.4	84.7	4.8
T-T-11								

1) 杨文元等, 1980: 双季稻三熟制与土壤肥力, 水稻土讨论会论文集(摘要)。

2) 杨金楼等, 1980: 上海郊区水稻土旱作期间耕层滞水的形成和排除途径的探讨, 水稻土讨论会论文集(摘要)。

3) 张振南, 1980: 深沟抬田改良次生潜育化水稻土, 农业现代化研究, 第 1 期。

4) 陈家坊, 1979: 太湖地区水稻土水气状况及其影响因素, 太湖地区水稻土肥力论文集(摘要)。

5) 刘元昌, 1978: 双三制条件下土壤性质变化和用地养地结合问题, 江苏省高产稳产农田建设土壤问题。

3. 调节措施。在未改良前应根据土壤特点采取措施。如劳力少的地方可改双季稻为一季稻,或改早稻的早熟品种为迟熟品种。在农活的安排上,整地时可先整次生潜育化水田,后整别的;插秧时先插其他田,后插次生潜育化的,让肥料得以充分腐熟。在施肥方面,针对土壤特性增施磷、钾肥,尤其是钾肥;从此种土壤无定形硅含量低,水稻植株含硅量也较低的情况看,硅肥问题应该注意;在有铁矿尾矿的地方也可用来作为改土物质。在水分管理方面,更应注意晒田。

诚然,次生潜育化水稻土存在上述问题,但潜在肥力还是不低的,尤其是耕作制不当引起的次生潜育化水稻土,条件一经改善,水稻可获增产。我国南方约有一亿亩各种类型的潜育性水稻土,如经改良对全国农业增产有很大意义。

参 考 文 献

- [1] 于天仁等, 1959: 太湖地区低产白土的成因与改良。土壤学报, 第7卷 1—2期, 42—58页。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。465—471页, 科学出版社。
- [3] 王颖明、黄楚渊, 1980: 湛江地区土壤肥力下降趋势原因分析及培肥途径。土壤通报, 第1期, 14—16页。
- [4] 李庆远、龚子同, 1979: 日本土壤科学的研究现状。土壤, 第4期, 154—159页。
- [5] 沈粹培、陈家坊, 1944: 潜育层和潜育层之化学性质。福建地质调查所年报, 第4号, 23—50页。
- [6] 肖泽宏, 1979: 水稻土的培肥与改良。土壤普查, 湖南科学技术出版社。
- [7] 侯光炯、马溶之, 1935: 江西南昌灰化水稻土之剖面形态。土壤特刊, 甲种三号。
- [8] 徐琪, 1962: 长江中下游白土的地理分布规律及其形成过程特点。土壤学报, 第10卷 1期, 44—54页。
- [9] 陈家坊等, 1975: 苏州平田地区水稻土发僵问题探讨。土壤, 第6期, 286—291页。
- [10] 龚子同、陈志诚, 1964: 珠江三角洲之土壤。土壤专刊, 36号。
- [11] 龚子同、徐琪、张俊民、刘良梧、陆彦椿, 1977: 关于太湖地区“吨粮田”的土壤条件问题。土壤, 第5期, 247—252页。
- [12] 龚子同、王汝镛、尤文瑞, 1979: 从土壤学角度看朝鲜农业的发展。土壤, 第5期, 202页。
- [13] 龚子同、韦启瑞、汤辛农、陈志诚, 1980: 土壤及其合理利用。桃源综合考察报告集, 74—133页。湖南科学技术出版社。
- [14] 张俊民, 1980: 江苏淮北岗地包浆土。土壤专报, 37号。
- [15] 曹升庚, 1964: 江西地区红壤性水稻土形成特点。土壤学报, 第12卷 2期, 155—163页。
- [16] 曾昭顺等, 1963: 论白浆土的形成和分类问题。土壤学报, 第11卷 2期, 111—129。
- [17] 雷文选, 1959: 江苏里下河土壤发生与改良。土壤学报, 第7卷 3—4期, 227—236页。
- [18] 熊毅, 1941: 水稻土之化学性质。土壤特刊, 5号。
- [19] Bloomfield, C. 1950: Some observation on gleying. *J. Soil Sci.*, 1: 205—211.
- [20] Brinkman, R. 1969/1970: Ferrollysis, A hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3: 199—206.
- [21] Dudal, R. 1973: Pseudogley & Gley. *Transaction of commission V and VI of the Int Soc. Soil Sci.*, 275—285.
- [22] Joffe, I. S. 1935: Soil profile studies VII The glei process. *Soil Sci.*, 39: 391—401.
- [23] McKeague, J. A. 1965: A laboratory study of gleying. *Canadian Journal of Soil Sci.*, 45: 199—206.
- [24] Okazaki, M. and Wada, H. 1976: Some aspects of pedogenic processes in paddy soils. “*Λ*”*ト*“*α*”*シ*“*ト*” 20(2): 139—150.
- [25] Zonn, S. V. 1973: Pseudogley & Gley, *Transaction of Commission V and VI of the Int Soc. Soil Sci.*, 221—227.
- [26] Высоцкий, Г. Н., 1905: Глей. «Почвоведение», № 4.
- [27] Виригина, К. В., 1943: К характеристике процессов оглеения. *Тр. почв. ин-та, им. В. В. Докучаева*, Т. 41: 198—250.
- [28] Досманова, О. П., 1934: Материалы к изучению процесса оглеобразования. *Тр. почв. ин-та им. В. В. Докучаева*, Т. 9.
- [29] Зайдельман, Ф. Р., Оглезнов, А. К., 1963: Исследование процессов глесобразования в пойменных почвах нечерноземной зоны, *Поч.*, №1, С44.

- [30] Ливеровский, Ю. А. и Дзедевич, Г. А., 1967: Глеевые почвы некоторых геохимических ландшафтов южной Тайги, «География и геохимия ландшафтов», Издва. М. Г. У.
- [31] Горбунов, Н. И., Березина, Н. В. и Зарубина, Т. Г., 1980: Природа и скорость оглеения почв. Почвоведение, №3, 42—49.

THE PROBLEM OF SECONDARY GLEIZATION OF PADDY SOIL

Gong Zi-tong, Wei Qi-fan, Huang Yue and Wu Zhi-dong

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

Summary

Following the development of water irrigation project, and the extending of double cropping rice under the condition without proper measures of soil management, the area of gleyed paddy soil is expanding. This has been found in Guangdong, Guangxi, Hunan, Hubei, Jiangsu and Shanghai. According to imperfect statistical data, the area of gleyed paddy soil has increased by 20% in some regions in past 10 years or so. The process by which a normal paddy soil profile turned into a gleyed one is generally denominated as secondary gleization. In some places, the term secondary gleization is called "waterlogged injury". Due to the low soil temperature in spring, inadequate supply of available nutrients, especially phosphorus and potassium and the accumulation of reducing matter, the growth of rice seedlings is retarded, the maturity of rice plant is delayed, and the proportion of empty gain is increased, all these may result a decrease of 750—1500 kg/hect. of grain in each rice yield.

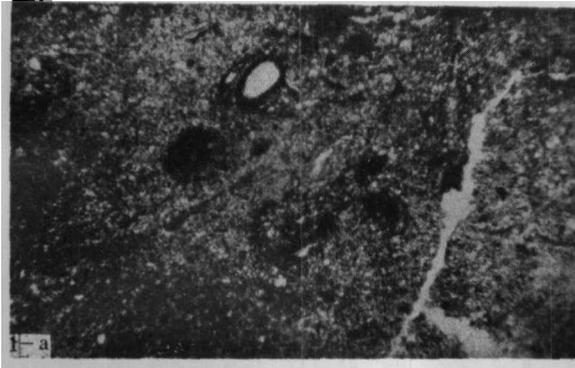
Due to the diversity in relief and parent material, the morphology of secondary gleyed paddy soil is not always the same. The most common phenomenon is the gleization in plowpan or in the deeper layer just under the plowpan. The gleying plowpan (Pg), or the secondary gleying horizon which shows a color of dark grey is generally 8—10 cm in thickness, and it is under strongly reducing condition, even in the season under upland crop, the redox potential is below 200 mv. The plowpan is much more compact than normal paddy soil. So the permeability of soil is very poor. Due to the diversity in the intensity and development of secondary gleization, the mobility of iron and manganese in the paddy soil profile is also different. The content of total iron in secondary gleying horizon (Pg) and the horizon on its top is low, but the ratio of active iron to total iron is high in comparison with the B and Bc horizons. As a result of gleization, the percentage of reduced iron is high, ferrous iron may amount to 5% of the total iron content. According to the comparison of the 6 pairs of samples from Jiangsu and Hunan provinces, the content of amorphous Si and the ratio of amorphous Si to total Si in the secondary gleyed paddy soil are all lower than those in corresponding normal paddy soil.

Alternation of reduction and oxidation is one of the characteristics of process of paddy soil formation. Based on this view point, the soils are divided into 3 subtypes: oxidizing, redoxing and reducing types. Secondary gleization can take place in all these 3 types of paddy soil. For example, the arrangement of soil horizon of a secondary gleyed profile developed from oxidizing paddy soil is A-Pg-B-Bc. In the Pg horizon, ferrous

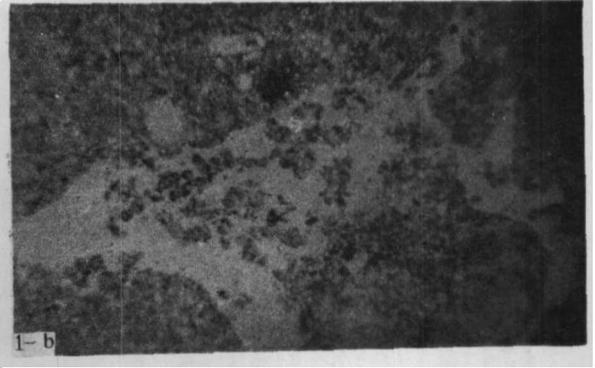
iron is about 100 mg/100g soil and in the corresponding normal paddy soil it is only several mg. But the area of this type of secondary gleyed soil is rather limited. The profile horizon arrangement of secondary gleyed paddy soil developed from the typical redoxing paddy soil is A—Pg—WB—B or A—Pg—Bg—B. The ferrous iron in the Pg horizon ranges from 100—200 mg/100 g soil. The area of secondary gleyed paddy soil of this type is quite large. On the typical profile of reducing paddy soil (A—P—Bg—G), the characteristics of secondary gleization is not evident. In case of improper irrigation, the raising of ground-water table may often induce the gleization of paddy soil.

Factors inducing soil gleization are rather complicated. The main cause is poor permeability, especially in the plowpan layer where its porosity is low. The level of ground-water, distance of rice field to the irrigation ditch, the occurrence of sandy and clay horizon in the soil profile also affect the permeability of soil.

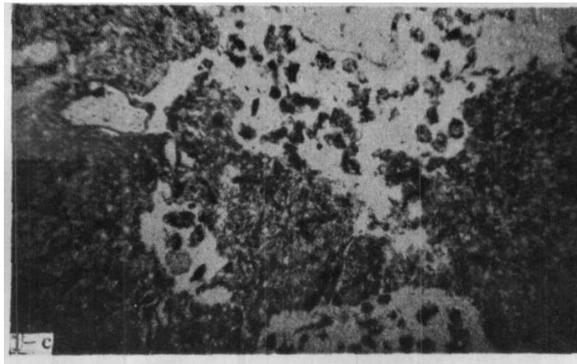
But soil gleization is also resulted by the environmental conditions. The first one is poor drainage, especially under irrigation. The second is improper cultivation system such as the adoption of double cropping rice, which may prolonge waterlogging period. The third is shallow ploughing, which may thicken the plowpan. (Fig. 4) Under the conditions mentioned above, secondary gleization may take place readily on most paddy soils with poor permeability. Therefore, better drainage, proper rotation of rice and upland crops, and improvement of cultivation measures will be conducive to eliminate the Pg horizon and increase the crop yield.



照片 1-a 乌白土 A 层(江苏无锡, S-5)(单偏光, ×10)
Fig. 1-a Bleached paddy soil, Wuxi, Jiangsu (Plain light, ×10)



照片 1-b 鳝血黄泥土 A 层(江苏无锡, S-42)(单偏光, ×10)
Fig. 1-b Redoxing paddy soil, Wuxi, Jiangsu (Plain light, ×10)

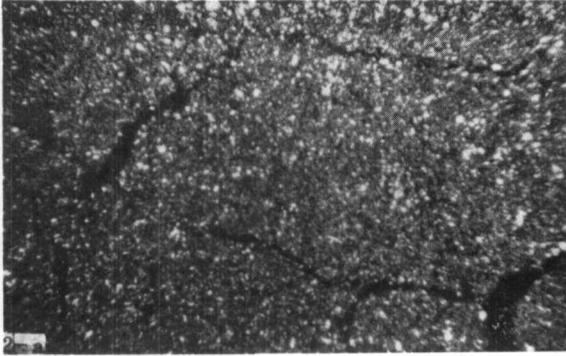


照片 1-c 乌山土 A 层(江苏昆山, S-24)(单偏光, ×10)
Fig. 1-c Deswampy paddy soil, Kunshan, Jiangsu (Plain light, ×10)

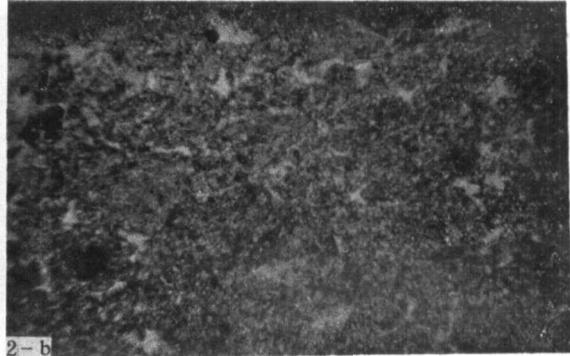
照片 1 肥沃水稻土

Fig. 1 Fertile paddy soil

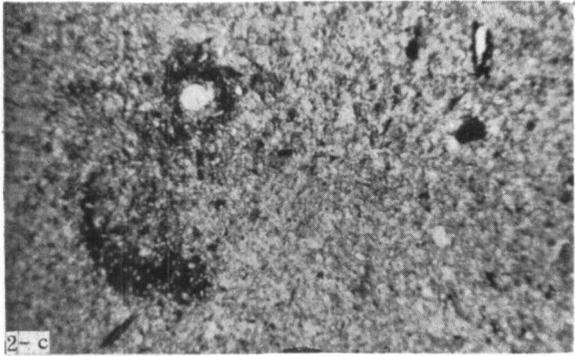
图版 I, II 由曹升庚同志制备并鉴定
(Prepared by Cao Sheng-geng)



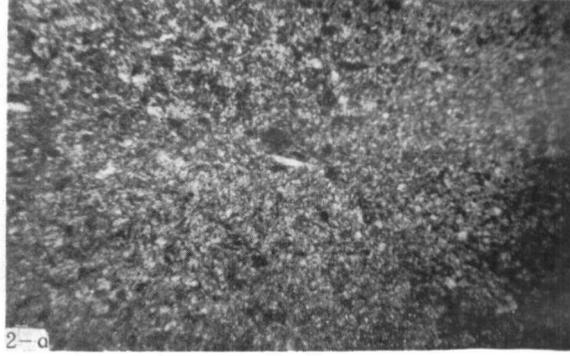
照片 2-a 白土 A 层(江苏无锡, S-6)(正交偏光, $\times 10$)
Fig. 2-a Bleached paddy soil, Wuxi, Jiangsu
(Crossed polarizers, $\times 10$)



照片 2-b 黄泥土 A 层(江苏无锡, S-43)(单偏光, $\times 10$)
Fig. 2-b Redoxing paddy soil, Wuxi, Jiangsu
(Plain light, $\times 10$)



照片 2-c 次乌山土 A 层(江苏昆山, S-25)(单偏光, $\times 10$)
Fig. 2-c Deswampy paddy soil, Kunshan, Jiangsu
(Plain light, $\times 10$)



照片 2-d 次乌山土 Pg 层(江苏昆山, S-25)(单偏光, $\times 10$)
Fig. 2-d Deswampy paddy soil, Kunshan, Jiangsu
(Plain light, $\times 10$)

照片 2 次生潜育化水稻土
Fig. 2 Secondary gleying paddy soil