

中国白浆土研究*

I. 白浆土机械组成特点及元素地球化学分异特征

律兆松 徐琪

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文对采自我国白浆土主要分布区的四个典型剖面的机械组成, 化学性质及元素地球化学分异特征进行了研究。结果表明, 所研究的四个剖面从以 $>0.002\text{mm}$ 的颗粒为基础计算的非粘粒粒径在剖面中的分布、土壤的硅铝率、铝钾镁率以及以非粘粒为基础计算的土体 TiO_2 含量来衡量, 母质是同源的; 在成土过程中, 粘粒由白浆层向淀积层淋淀, 形成了两层在机械组成上的“双层性”, 而不是母质两次沉积的结果; 元素地球化学分异特征是: SiO_2 和 MnO 在白浆层中富集, Fe_2O_3 在淀积层中富集, Al_2O_3 的富集因成土条件不同而异; Fe_2O_3 、 MnO 、 Al_2O_3 及 TiO_2 向粘粒中富集, SiO_2 向粗颗粒中富集; 白浆土中粘土矿物似有微弱的破坏作用。

关键词 白浆土, 机械组成, 化学性质, 元素地球化学分异

白浆土是我国一种分布比较广泛的土壤^[1,2]。本世纪50年代以前, 许多学者认为白浆土与灰化土具有相似的剖面形态, 一直把它当作灰化土来进行研究。50年代初期, 曾昭顺教授在黑龙江流域进行考察中, 注意到白浆土的形成条件、发生过程及土壤性质等方面与灰化土不同, 因此将其独立出来, 并以“白浆土”名之^[3]。此后, 在国内将白浆土和灰化土当作两个不同的土类分别进行研究。在国外, 现许多国家对此类土壤作为具有淋溶特征的灰化土进行研究。中国的白浆土与法国的拉西维土 (Lessive Sols)、德国的假潜育土 (Pseudogley)、美国的粘磐土 (Planosols) 以及前苏联的假灰化土及灰化脱碱土相似^[4]。在我国不同地区对“白浆土”的定名不一样。东北地区名为“白浆土”, 太湖地区名为“白土”^[5], 湖北、河南等地名为“白散土”^[6], 在四川盆地等地则命名“白鳝泥”。对白浆土的发生过程也提出了许多种假说, 如“白浆化过程”、“潜育淋溶作用”、“溶铁作用”等^[1,2]。到目前还没有一种统一的理论。有人认为白浆土的形成是因土壤粘重或上砂下粘的双层母质原因; 有人认为在降水或灌溉水影响下, 由氧化态变为还原态, 包被于土粒表面的膜状铁、锰被还原成低价铁锰。低价铁锰或随水向下部移动或在随后而来的土壤氧化状态下就地形成结核, 上层逐渐脱色, 再在淋铁脱膜的基础上, 已被胶结的土粒和结构

* 国家自然科学基金资助项目。

体因脱膜而分散于悬液,向淀积层淋溶淀积,从而逐渐形成了灰白色、质地轻的白浆层和质地粘重的淀积层^[4]。

尽管白浆土的研究已有近40年的历史,也积累了比较丰富的资料,但仍有许多问题尚待解决,如双层母质问题、粘粒破坏性移动问题、其发生过程与灰化土的区别等。另外,由于白浆土是一种分布广泛具有很大生产潜力的土壤资源,对我国未来农业的发展具有重要作用。因此,对白浆土进一步深入的研究具有重要的理论与实践意义。本文是对白浆土进行综合研究之一。通过该项研究,试图较明确阐明中国白浆土的成因、发生过程、性质及改良利用途径。

一、供试样品及分析方法

(一) 供试样品

系采自我国白浆土主要分布区的四个典型剖面。采集地点分别是黑龙江省密山县、吉林省安图县、江苏省无锡县、四川省新都县。

(二) 分析方法

1. 基本化学性质: 土壤 pH 值用电位法,土:水=1:2.5; 有机质含量用重铬酸钾法;全氮量用凯氏法;阳离子交换量和盐基离子组成用铵盐-蒸馏法^[7]。

2. 机械组成及粘粒提取: 用超声波分散吸管法^[7]。

3. 矿质全量分析: Li_2CO_3 - H_3BC_3 -石墨粉坩锅快速熔样,等离子体光谱测定^[8]。

二、结果与讨论

(一) 白浆土基本性质

由表 1 可知,白浆土有机质含量变动在 4—12g/kg,全氮变动在 0.3—0.7g/kg 范围内,属于低肥力水平。pH(H_2O) 值属微酸性—酸性范围。白浆层 pH 略低于淀积层。阳离子交换量变化在 10—75cmol(+)/kg 之间,一般为 20cmol(+)/kg。表层有机质含量和阳离子交换量明显高于以下各层。由于白浆层中粘粒含量低于淀积层,阳离子交换量也是白浆层低于淀积层,两者相差 5—10cmol(+)/kg。盐基离子组成以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主,含有少量钾和钠(只占盐基离子的 1% 左右)。盐基饱和度变化在 20—65% 之间,这与一般认为白浆土盐基饱和度在 50% 以上的认识不一致^[4,5]。土壤 pH(y) 与盐基饱和度(x) 呈极显著相关($y = 3.325 + 0.049x$ $r = 0.8767^{**}$, $n = 27$),表明 pH 与阳离子交换量的测定结果是正确的。

白浆土机械组成的分析结果(表 2 和图 1) 表明,整个白浆土剖面中,表层和白浆层粘粒含量最低,在 18—25% 之间。淀积层明显地增加,为 30—44%。这一特性在东北地区的白浆土中表现尤为明显,如剖面 87-白-2 和 87-白-1 的粘粒指数达 2.4 和 1.9。白浆层和淀积层之间呈现出“双层母质”的“表象”。所谓“表象”是因为只从粘粒含量差异上还无法肯定两层之间的差异就是缘于母质的两次沉积,也可能是成土过程中粘粒淋淀的结果。但还需要进一步的证明。

表 1 白浆土基本化学性质
Table 1 Chemical properties of albic soils

剖面 Profile	发生层 Horizon	pH (H ₂ O)	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	阳离子交换量 CEC [cmol(+)/kg]	代换性阳离子 Exchangeable cation [cmol(+)/kg]				盐基饱和度 Base-saturation percentage (%)	代换性钠 Exchangeable Na (%)	水解性酸 Hydrolytic acidity [cmol(+)/kg]
						K	Na	Ca	Mg			
87-白-1	A	5.17	60.0	2.60	20.53	0.44	0.10	5.36	1.71	37.07	0.49	12.92
	Aw	5.91	20.2	1.00	15.18	0.26	0.16	3.99	1.63	40.12	1.05	9.06
	W	5.94	12.4	0.60	15.21	0.26	0.17	4.12	2.09	43.66	1.12	8.57
	B1	6.07	10.4	0.60	25.83	0.47	0.38	7.09	4.08	46.45	1.47	13.86
	B2	6.01	8.00	0.50	27.38	0.52	0.44	7.78	4.51	48.39	1.61	14.13
	C	5.99	6.90	0.50	26.19	0.47	0.41	7.54	4.28	48.49	1.57	13.49
87-白-2	A ₀	5.23	388.2	15.8	75.31	1.83	1.66	23.2	4.50	41.43	2.20	44.11
	A ₁	4.52	112.0	6.80	35.51	0.65	0.19	5.70	2.03	24.13	0.54	26.94
	W	4.79	9.60	0.70	11.25	0.17	0.12	1.36	0.62	20.18	1.10	8.98
	WB	4.19	6.60	0.50	22.79	0.32	0.17	2.87	1.74	22.38	0.75	17.69
	B	4.07	5.20	0.40	27.49	0.38	0.22	3.79	2.34	24.48	0.80	20.76
	C	4.03	4.30	2.60	29.19	0.43	0.30	4.97	3.30	30.83	1.03	20.19
87-白-3	A	4.83	21.8	1.30	16.66	0.21	0.25	5.75	1.61	46.94	1.50	8.84
	P	6.16	13.6	0.80	15.91	0.20	0.29	6.75	1.97	57.89	1.82	6.70
	W ₁	6.34	7.00	0.50	13.67	0.16	0.18	6.02	1.89	60.35	1.32	5.42
	W ₂	6.27	4.80	0.40	12.62	0.16	0.21	4.90	1.77	55.70	1.66	5.59
	B	6.10	4.90	0.40	13.58	0.26	0.34	4.86	1.92	54.34	2.50	6.20
	BG	6.22	4.60	0.40	19.59	0.27	0.32	7.41	3.28	57.58	1.63	8.31
87-白-4	A	5.37	26.5	1.50	13.67	0.22	0.22	5.81	1.41	56.04	1.61	6.01
	P	5.96	22.4	1.30	13.26	0.17	0.12	6.25	1.46	60.33	0.90	5.26
	W	6.46	10.1	0.70	13.89	0.19	0.08	7.08	1.66	64.87	0.58	4.83
	B	6.76	4.50	0.40	16.38	0.32	0.20	9.21	2.19	72.78	1.22	4.46
	BG	6.87	5.60	0.40	22.88	0.42	0.34	11.0	3.39	66.13	1.49	7.75

表 2 白浆土的机械组成
Table 2 Mechanical composition of albic soils

剖面 Profile	地点 Location	发生层 Horizon	深度 Depth (cm)	各级颗粒含量(%), 粒径: mm)							质地 Texture	
				1—0.5	0.5—0.25	0.25—0.1	0.1—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.002		<0.002
87-白-1	黑龙江 密山县	A	0—15	5.0	4.6	7.5	9.1	27.3	11.5	12.6	22.4	壤质粘土
		AW	15—25	6.5	5.0	8.2	9.5	27.5	12.1	11.0	20.2	壤质粘土
		W	25—40	6.6	3.7	6.4	3.7	31.5	11.7	10.9	25.5	壤质粘土
		B ₁	40—72	2.6	2.7	5.5	3.8	23.7	10.4	14.4	36.9	粘土
		B ₂	72—92	2.1	2.5	5.0	3.8	22.4	11.9	14.3	38.0	粘土
		C	92—112	1.9	2.4	4.6	2.9	23.5	14.0	13.3	37.4	粘土
87-白-2	吉林 长白山	A ₀	0—2	0.7	0.6	0.6	11.9	41.1	12.7	15.3	17.1	粉砂质粘土
		A ₁	2—18	1.4	1.3	1.3	7.4	30.3	15.0	15.2	28.1	粉砂质粘土
		W	18—33	2.8	2.2	2.4	8.3	33.9	18.6	13.4	18.4	粉砂质粘土
		WB	33—50	0.6	0.5	0.7	3.8	26.2	14.2	14.1	39.9	粘土
		B	50—92	0.1	0.2	0.7	3.8	23.1	13.6	14.8	43.7	粘土
		C	92—120	0.2	0.4	1.3	4.7	23.2	13.5	13.7	43.0	粘土
87-白-3	江苏 无锡县	A	0—14	0.2	0.1	0.2	2.6	48.5	11.7	11.1	25.6	粉砂质粘土
		P	14—24	0.1	0.2	0.2	4.2	47.7	12.7	8.2	26.7	粉砂质粘土
		W ₁	24—40	0.2	0.2	0.2	3.8	52.6	7.8	9.4	25.8	粉砂质粘土
		W ₂	40—55	0.3	0.1	0.2	5.2	47.9	11.6	8.7	26.0	粉砂质粘土
		B	55—75	0.3	0.1	0.1	4.7	45.0	10.8	8.7	30.3	粉砂质粘土
		BG	75—100	0.1	0.1	0.1	4.3	42.7	11.4	9.4	31.9	粉砂质粘土
87-白-4	四川 新都县	A	0—15	0.2	0.2	1.9	4.2	40.3	14.2	13.9	25.1	粉砂质粘土
		P	15—25	0.4	0.4	2.8	4.0	40.5	13.6	12.8	25.5	粉砂质粘土
		W	25—37	0.5	0.5	3.2	5.0	36.2	12.6	10.8	31.2	粉砂质粘土
		B	37—55	1.4	1.4	4.0	4.8	31.1	10.7	12.7	33.9	壤质粘土
		BG	55—95	0.4	0.6	4.4	2.6	31.0	8.8	16.0	36.2	粘土

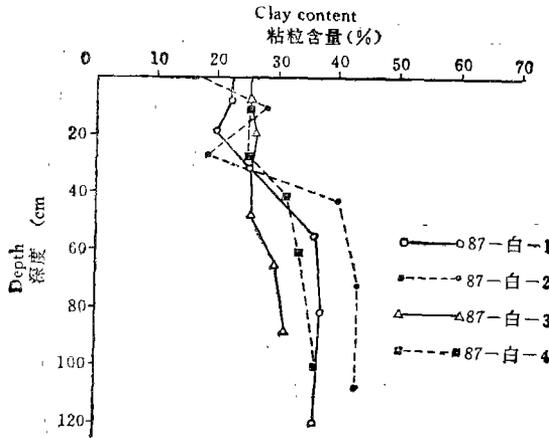


图 1 白浆土粘粒在剖面中分布

Fig. 1 Clay distribution in albic soil profiles

(二) 白浆土母质同源性

要解决“双层母质”问题，首先应证明母质是否是同源的。非粘粒部分的颗粒粒径分布的一致性被许多研究者用来作为判断母质同源性的指标^[9-12]，认为以非粘粒部分 (>0.002mm) 为基础计算的非粘粒颗粒粒径在剖面中分布是一致的，就可以说母质是同源的。表 3 表明，表层以下发生层的颗粒分布表现为粒径越大颗粒分布的一致性越差，反之亦然。如 1—0.5mm 粒级，由剖面 87-白-1 到 87-白-4 的离差分别为 44.25%、94.30%、44.32% 和 84.61%。这可能与土壤中含有铁锰结核和母质本身不均一性有关。细粒级的离差一般 <20%，尤其是粗粉粒级(0.05—0.01mm)四个剖面离差分别为 7.49%、7.74%、4.24% 和 6.38%。颗粒分布变异多大才算母质不连续？Drees^[13] 曾用粉粒中 Zr/Sr 和 Ti/Zr 比率来判断母质的同源性。认为均一的黄土剖面中，离差 >22% 是判断岩性不连续的标准。Evan 等^[14] 则认为离差 <23% 是判断发育在泥岩上土壤母质均一性的标准。相反，Champman^[15] 认为离差 >100% 才是判断岩性断裂的标准。借用 Zr/Sr 这一指标的标准，表明研究的四个剖面的母质是同源的。另外，非粘粒的硅铝率及以非粘粒为基础计算的土壤惰性元素含量也可用来判断母质的同源性^[9]。由表 4 的分析结果表明，三个剖面中这两个指标变异都不大。剖面 87-白-1 和 87-白-3 的硅铝率、硅铁铝率、硅钛率的离差一般 <20%，甚至只有百分之几。在剖面 87-白-4 中，除 0.002—0.005mm 和 0.005—0.01mm 两粒级中的硅铝铁率稍大(不超过 29%) 外，其它粒级的上述比率都很小。所有剖面的铝钾镁率的离差都小于 20%。以非粘粒为基础计算的土壤 TiO₂ 含量(表 5)在剖面发生层间的离差更小，最小的只有 4.19%，最大也不超过 17%。这还包括表层的统计结果，否则会 smaller。由此进一步证明了所研究的白浆土母质是同源性的。况且，从我们的研究结果看，用铝钾镁率比用硅铝率来判断母质同源性要更好些。因为粗颗粒部分几乎没有阳离子吸附能力，铝、钾、镁几乎全部来源于矿物，铝钾镁率结果的一致性，表明了矿物的组成是一样的。由此可见其母质是同源的。

(三) 白浆土发生过程中粘粒移动及元素地球化学分异特征

表 3 以非粘粒为基础计算的粒径(>0.002mm)分布
 Table 3 Particle size distribution calculated on the basis
 of non-clay fraction (>0.002mm)

剖面 Profile	发生层 Horizon	各级颗粒含量(% , 粒径: mm) Mechanical composition (% , Particle size: mm)						
		1—0.5	0.5—0.25	0.25—0.1	0.1—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.002
87-白-1	A	6.44	5.93	9.67	11.73	35.18	14.82	16.24
	AW	8.15	6.27	10.28	11.90	34.46	15.16	13.78
	W	8.86	4.97	8.59	4.97	42.28	15.70	14.63
	B ₁	4.12	4.28	8.72	6.02	37.56	16.48	22.82
	B ₂	3.39	4.03	8.06	6.13	36.13	19.19	23.06
	C	3.04	3.83	7.34	4.63	37.54	22.36	21.45
	离差 %	44.25	20.93	12.13	44.19	7.49	16.99	22.79
87-白-2	A ₀	0.84	0.72	0.72	14.35	49.58	15.32	18.46
	A ₁	1.95	1.81	1.84	10.29	42.14	20.86	21.14
	W	3.43	2.70	2.94	10.17	41.54	22.79	16.42
	WB	1.00	0.83	1.16	6.32	43.59	23.63	23.46
	B	0.18	0.36	1.24	6.75	41.03	24.16	25.29
	C	0.35	0.70	2.28	8.24	40.70	23.68	24.04
	离差 %	94.30	74.84	48.30	31.62	7.74	15.43	17.08
87-白-3	A	0.27	0.13	0.27	3.49	65.19	15.73	14.92
	P	0.14	0.27	0.27	5.73	65.08	17.33	11.19
	W ₁	0.27	0.27	0.27	5.12	70.89	10.51	12.67
	W ₂	0.41	0.14	0.27	7.03	64.73	15.68	11.76
	B	0.43	0.14	0.14	6.74	64.56	15.49	12.48
	BG	0.15	0.15	0.15	6.31	62.70	16.74	13.80
	离差 %	44.32	36.78	28.30	22.64	4.24	15.93	10.64
87-白-4	A	0.27	0.27	2.54	5.61	53.81	18.96	18.56
	P	0.54	0.54	3.76	5.37	54.36	18.26	17.18
	W	0.73	0.73	4.63	7.27	52.62	18.31	15.70
	B	2.12	2.12	6.05	7.26	47.05	16.91	19.21
	BG	0.63	0.94	6.89	4.08	48.59	13.79	25.08
	离差 %	84.61	77.69	36.46	22.99	6.38	12.42	28.70

表 4 >0.002mm 粒径颗粒的全量组成

Table 4 Total composition of non-clay fraction of albic soils (% >0.002mm)

剖面 Profile	发生层 Horizon	氧化物含量(占灼烧土) Oxides (g/kg ignited soil)						SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	SiO ₂ TiO ₂	Al ₂ O ₃ K ₂ O + MgO	粒 径 Particle size (mm)
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	K ₂ O					
87-白-1	A	14.59	72.88	4.14	0.94	2.34	3.06	8.48	7.18	41.50	2.60	0.002—0.005
	W	12.76	76.03	3.24	0.66	2.08	3.27	10.11	8.70	48.63	2.45	
	B ₁	14.98	72.73	4.42	0.85	1.93	3.03	8.27	6.95	50.11	2.75	
	C	14.22	71.83	4.19	0.90	1.96	3.31	8.58	7.22	48.77	2.43	
	离差(%)							8.24	9.28	7.13	5.05	
87-白-3	A	14.45	73.24	5.08	1.36	2.56	2.52	8.60	7.02	38.04	2.34	
	W ₂	10.60	82.91	2.33	0.60	3.00	2.06	13.27	11.64	36.75	2.83	
	B	10.93	82.067	2.31	0.53	3.11	2.16	12.74	11.23	35.08	2.97	
	离差(%)							18.10	20.95	3.31	9.95	
87-白-4	A	16.68	68.40	5.46	1.75	2.14	3.36	6.96	5.76	42.50	2.07	
	W	15.07	70.55	4.63	1.44	2.14	3.12	7.94	6.64	43.84	2.15	
	B	10.75	79.95	3.61	0.51	2.60	1.99	12.62	10.39	40.89	3.12	
	离差(%)							26.92	26.43	2.84	19.50	
87-白-1	A	11.52	80.76	2.53	0.55	1.92	2.46	11.90	10.43	55.93	2.84	0.005—0.01
	W	10.44	82.94	1.63	0.33	1.18	2.13	13.43	12.26	93.47	3.32	
	B ₁	11.34	82.32	2.20	0.42	1.38	2.33	12.32	10.96	79.32	3.16	
	C	11.18	80.96	1.67	0.41	1.12	2.60	12.29	11.22	96.12	2.90	
	离差(%)							4.57	5.94	19.62	6.37	
87-白-3	A	9.820	84.45	2.11	0.57	2.06	1.77	14.59	12.83	54.51	2.92	
	W ₂	7.430	88.65	1.02	0.23	1.84	1.36	20.25	18.62	64.06	3.61	
	B	7.540	88.32	0.95	0.21	1.84	1.31	19.88	18.40	63.83	3.87	
	离差(%)							14.17	16.12	7.34	11.56	
87-白-4	A	13.06	79.59	3.43	1.05	1.83	2.40	10.29	8.81	57.54	2.49	
	W	12.21	81.99	2.32	0.68	1.06	2.11	12.41	10.96	102.9	2.80	
	B	7.610	86.53	1.47	0.22	1.30	1.41	19.30	17.18	88.51	3.65	
	离差(%)							27.47	28.81	22.81	16.45	
87-白-1	A	8.380	82.46	2.77	0.19	0.95	2.75	15.85	13.20	115.4	2.55	0.01—0.25
	W	8.880	80.08	3.52	0.17	1.10	2.60	15.30	12.21	96.57	2.74	
	B ₁	8.920	81.59	1.96	0.15	0.95	2.35	15.52	13.61	114.2	3.05	
	C	9.370	82.18	1.11	0.17	1.12	2.41	14.88	13.84	97.57	3.08	
	离差(%)							2.29	4.72	8.38	7.73	
87-白-3	A	7.030	88.70	0.93	0.25	1.45	0.98	21.41	19.74	81.35	4.15	
	W ₂	5.560	90.28	0.69	0.13	1.41	0.70	27.55	25.53	85.14	5.12	
	B	5.800	90.18	0.69	0.12	1.41	0.72	26.38	24.52	85.05	5.36	
	离差(%)							10.60	10.85	2.11	10.72	
87-白-4	A	8.430	84.07	2.00	0.47	1.29	1.09	16.92	14.70	86.66	3.55	
	W	8.260	84.49	2.33	0.42	1.47	1.12	17.36	14.71	76.43	3.63	
	B	6.600	84.08	3.17	0.16	1.48	0.83	21.62	16.54	75.55	5.08	
	离差(%)							11.37	5.65	6.34	17.21	

表 5 土体中以非粘粒 (>0.002mm) 为基础计算的 TiO₂ 全量
 Table 5 Total TiO₂ content of soils calculated on the basis of non-clay fraction

剖面 Profile	发生层 Horizon	深度 (cm) Depth	TiO ₂ 含量 (g/kg) TiO ₂ content
87-白-1	A	0-15	19.2
	AW	15-25	18.7
	W	25-40	20.2
	B ₁	40-72	22.8
	B ₂	72-92	24.3
	C	92-112	24.4
	离差(%)		10.81
87-白-2	A ₀	0-2	20.5
	A ₁	2-18	26.7
	W	18-33	23.3
	WB	33-50	30.6
	B	50-92	33.1
	C	92-120	30.5
	离差(%)		16.10
87-白-3	A	0-14	24.6
	P	14-24	25.0
	W ₁	24-40	24.0
	W ₂	40-55	25.1
	B	55-75	27.4
	BG	75-100	25.1
	离差(%)		4.19
87-白-4	A	0-15	23.1
	P	15-25	22.8
	W	25-37	25.6
	B	37-55	28.0
	BG	55-95	22.7
	离差(%)		8.49

1. 粘粒淋淀作用: 白浆土成土过程中, 粘粒发生了淋淀作用。根据 Iassac Barshad^[9] 的方法, 本文通过表 6 所列土壤的全量组成计算了两个剖面的粘粒移动量见表 7。结果表明, 白浆层(W)中粘粒发生淋失, 淋失量分别为 40.21 和 36.4g/100g±。淀积层(B)中

表 6 白浆土土体与粘粒的全量化学组成

Table 6 Chemical composition of the soil and clay in albic soils

剖面 Profile	发生层 Horizon	烧失量 Loss on ignition (g/kg)	氧化物(占烧失量 g/kg) Oxides (g/kg ignited soil)									
			CaO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O
土 体 Soil mass												
87-白-1	A	89.3	7.0	125.3	1.8	739.7	37.3	1.4	6.1	14.9	30.0	22.5
	AW	44.9	5.9	124.4	1.3	750.1	42.1	1.7	5.9	14.9	29.9	20.9
	W	40.0	5.2	134.0	1.0	738.2	48.2	2.1	6.8	15.0	30.6	21.5
	B ₁	58.2	6.3	171.5	1.3	669.8	58.7	1.5	10.5	14.4	31.9	18.1
	B ₂	60.3	6.7	181.3	1.4	678.0	60.0	1.1	12.0	15.1	28.3	14.7
	C	58.2	7.0	175.4	1.4	684.7	59.9	1.0	11.8	15.3	28.9	16.2
87-白-2	A ₀	505.8	36.5	167.6	8.3	619.1	57.3	6.5	18.1	17.0	30.3	21.7
	A ₁	172.1	9.3	172.2	4.7	671.9	63.0	4.2	15.7	19.2	28.0	18.6
	W	39.7	6.2	137.2	1.8	697.9	69.4	3.2	11.5	19.0	27.0	23.3
	WB	46.3	5.6	165.8	1.8	657.6	60.0	0.9	15.1	18.4	26.8	18.8
	B	52.1	5.5	176.4	1.8	659.9	67.8	1.0	16.4	18.6	27.4	18.0
	C	49.1	6.0	173.8	1.5	680.1	64.6	0.5	15.4	17.4	30.5	21.8
粘 粒 Clay												
87-白-1	A	183.8	2.7	227.8	4.2	586.4	85.6	1.4	16.2	25.0	33.5	8.4
	AW	121.5	2.2	238.4	2.3	586.8	88.0	2.0	15.2	24.3	31.6	2.2
	W	107.6	4.0	238.4	2.9	549.2	99.3	3.4	15.5	22.3	36.5	13.6
	B ₁	108.3	3.4	266.7	1.3	553.8	102.8	1.2	17.5	18.9	26.1	4.9
	B ₂	104.2	4.9	268.9	1.8	548.9	100.0	1.3	18.2	17.2	28.4	6.3
	C	109.9	3.4	264.5	2.0	550.7	102.2	1.5	17.5	17.1	28.8	5.9
87-白-2	A ₁	245.9	2.7	252.8	8.8	557.4	100.7	4.2	24.7	22.6	29.2	8.4
	W	105.7	2.1	231.0	3.2	552.1	118.6	5.4	23.3	28.7	31.6	8.1
	WB	93.2	1.0	248.0	2.9	545.1	109.5	1.1	22.8	22.5	27.4	4.3
	B	98.5	1.6	250.8	2.6	552.7	111.6	1.1	22.3	21.6	31.2	7.8
	C	94.6	3.9	246.7	3.1	553.3	110.9	0.6	23.1	20.1	29.4	7.7

粘粒发生淀积,淀积量分别为 3.89 和 5.60g/100g±。这一结果直接说明白浆土在发生过程中存在着粘粒由白浆层向淀积层移动的现象,也证明了两层粘粒含量上的差异是由成土过程造成的。至于为何两层相差较大,可能是由于白浆层粘粒在向淀积层淋淀的同时,受地形影响也发生侧向淋失作用。

2. 元素化学分异特征: 随着粘粒的移动,土壤的元素全量组成发生分异。首先,土体和胶体的硅铝率、硅铝铁率(表 8)在不同发生层之间发生了分异。就土体而言,剖面 87-白-1 变异率最大,分别是 29.01% 和 28.40%。而胶体中分异较小,最高变异率分别为 10.2% 和 8.74%。硅铝率、硅铝铁率反映了成土过程中矿物遭破坏的程度。如果矿物未遭破坏,不论是土体还是胶体两个指标在不同发生层之间是一致的。白浆土两者的分异特

表 7 白浆土的各个发生层在成土过程中粘粒的生成和移动¹⁾
 Table 7 Formation and migration of clay in various horizons of albic soil during soil forming process

剖面 Profile	发生层 Horizon	<2 μ (%)	f (g)	k	F (g)	N (g)	F+N (g)	每百克土中粘粒增减量 Increase or decrease of clay Per 100g soil (g)	O (g)	O+N (g)	粘粒相对增减量 Relative clay increment or decrement (%)
87-白-1	A	22.4	15.33	1.02	13.69	53.33	67.03	-44.63	89.27	142.61	-31.29
	AW	20.2	15.87	1.01	14.80	55.70	70.51	-50.31	93.24	148.95	-33.77
	W	25.5	15.27	1.00	13.42	52.50	65.92	-40.21	87.88	140.38	-28.79
	B ₁	36.9	2.40	1.04	1.48	37.00	38.43	-1.58	61.98	98.93	-1.60
	B ₂	38.0	-2.98	1.00	-1.79	35.89	34.10	3.89	60.08	95.93	4.05
	C	37.4	0.00	1.00	0.00	37.40	37.40	0.00	62.60	100.00	0.00
87-白-2	A ₁	28.1	-24.26	1.02	-13.73	42.71	28.97	-0.87	56.62	99.33	-0.88
	W	18.4	-2.76	1.05	-2.08	56.86	54.78	-36.38	75.38	132.25	-27.51
	WB	39.9	0.60	1.06	0.34	43.01	43.35	-3.45	57.01	100.03	-3.45
	B	43.7	-3.19	1.03	-1.68	39.77	38.09	5.60	52.72	92.50	6.06
	C	43.0	0.00	1.00	0.00	43.00	43.00	0.00	57.00	100.00	0.00

1) 根据 Isaac Barshad 法计算, f 表示由 100 克非粘粒母质所生成的粘粒含量; k 表示比例系数; F 表示土层中 100 克土所生成粘粒含量; N 表示原来在土层中存在的粘粒含量; O 表示土层中原有非粘粒量。

表 8 土体和粘粒中氧化物分子率

Table 8 Molecular ratios of oxides in soil and clay of Albic soils

剖面 Profile	发生层 Horizon	土 体 Soil			粘 粒 Clay		
		$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{TiO}_2}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{TiO}_2}$
87-白-1	A	10.00	8.41	6.58	4.37	3.52	7.15
	AW	10.23	8.41	6.52	4.81	3.38	7.69
	W	9.34	7.60	6.99	3.91	3.09	8.38
	B ₁	6.63	5.44	9.35	3.51	2.82	11.10
	B ₂	6.34	5.24	9.43	3.46	2.80	12.26
	C	6.59	5.41	9.03	3.53	2.83	12.11
	变异率	29.01	28.4	33.8	10.2	8.74	32.45
87-白-2	A ₀	6.27	5.15	7.74	—	—	—
	A ₁	6.62	5.37	7.02	3.74	2.98	8.77
	W	8.63	6.52	5.67	4.06	3.05	6.30
	WB	6.73	5.47	7.07	3.73	2.91	8.63
	B	6.35	5.10	7.42	3.74	2.91	9.10
	C	6.64	5.37	7.85	3.81	2.96	9.60
	变异率	26.42	21.8	30.8	7.88	4.59	44.44
87-白-3	A	9.97	8.22	5.57	3.30	2.59	9.99
	P	10.17	8.33	5.48	3.29	2.57	10.26
	W ₁	10.42	8.67	5.50	3.26	2.59	10.05
	W ₂	12.03	10.2	4.67	3.28	2.67	8.45
	B	10.27	8.76	5.20	3.22	2.64	8.22
	BG	7.28	5.71	7.22	3.00	2.30	10.93
	变异率	14.63	14.1	11.3	1.86	1.12	2.27
89-白-4	A	8.01	6.47	6.69	3.29	5.52	10.00
	P	7.90	6.40	6.84	3.34	2.51	9.64
	W	7.94	6.41	6.62	3.27	2.53	10.08
	B	8.05	6.23	6.32	3.15	2.45	10.30
	BG	6.20	4.99	8.14	3.25	2.58	11.71
	变异率	1.39	2.81	4.53	3.67	3.16	2.18

变异率=(白浆层含量-淀积层含量)/白浆层含量×100%

征表明了其中的矿物特别是粘土矿物发生了较弱的分解作用。其次，以抗风惰性元素钛为标准计算的各发生层的元素变化的结果表明(表 9)， SiO_2 在白浆层中积聚，在淀积层中淋失。但并不意味白浆层中 SiO_2 的富集率一定大于 1，这只是一个相对的数量关系。如剖面 87-白-1 中白浆层的 SiO_2 富集率小于 1，但与淀积层相比其值还是大一些。也就是说相对母质而言，白浆层和淀积层中的 SiO_2 都有损失，只是白浆层比淀积层损失小，实质上则是富集。在多数情况下，淀积层中 SiO_2 也发生绝对富集，但富集程度小于白浆层。除了 87-白-3 剖面外，白浆层和淀积层中 MnO 发生了绝对富集(富集率大于 1)，并且白浆层富集程度比淀积层高。对于 Fe_2O_3 而言，一般发生淋失，但白浆层比淀积层淋失量要大的多，实际上淀积层则相对富集 Fe_2O_3 。 Al_2O_3 几乎在所有的白浆层和淀

表 9 白浆土成土过程元素化学组成上的变化¹⁾(%)
 Table 9 Changes in chemical composition of Albic soils during forming process (%)

剖面 Profile	发生层 Horizon	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MnO		CaO		MgO		K ₂ O		Na ₂ O		TiO ₂		
		A ²⁾	R ³⁾	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	
87-白-1	A	-6.28	0.93	-1.29	0.99	-9.23	0.91	1155	12.56	528.2	6.28	19.79	1.20	1.02	1.78	1.02	2.17	1.02	0	1
	W	-6.14	0.94	-27.8	0.72	-1.72	0.98	451.5	5.52	-4.92	0.95	-31.99	0.68	-19.09	0.81	-1.93	0.98	0	1	1
	B ₂	-9.53	0.90	-5.73	0.95	-2.15	0.98	75.16	1.75	-13.34	0.87	-1.27	0.99	-16.12	0.84	-23.1	0.77	0	1	1
87-白-2	A	10.56	1.11	-27.20	0.78	-36.13	0.64	45.52	1.46	3.03	1.03	-46.79	0.53	6.19	1.06	42.40	1.42	0	1	1
	W ₁	12.19	1.12	-27.77	0.72	-28.01	0.72	86.09	1.86	-14.3	0.86	-49.06	0.51	5.84	1.06	32.30	1.32	0	1	1
	B	4.15	1.04	3.51	1.04	4.28	1.04	69.10	1.69	-4.25	0.96	-5.06	0.95	17.36	1.17	18.85	1.18	0	1	1
87-白-3	A	5.47	1.05	-22.98	0.77	-40.08	0.60	-56.78	0.43	-4.91	0.95	-10.84	0.89	-43.21	0.57	-25.07	0.75	0	1	1
	W	8.86	1.09	-23.90	0.76	-44.35	0.56	-50.75	0.49	-16.03	0.84	-24.90	0.75	-57.80	0.42	-49.22	0.51	0	1	1
	B	1.45	1.01	-28.80	0.72	-54.89	0.45	-71.86	0.23	-37.13	0.63	-45.81	0.54	-51.17	0.49	-33.44	0.67	0	1	1
87-白-4	A	6.26	1.06	-17.74	0.82	-19.21	0.81	-55.18	0.45	0.23	1.00	-5.93	0.94	-7.35	0.93	34.84	1.35	0	1	1
	W	4.30	1.04	-18.58	0.81	-19.34	0.81	35.26	1.35	-10.39	0.90	-19.47	0.81	-7.17	0.93	26.93	1.27	0	1	1
	B	0.83	1.01	-22.31	0.78	-6.66	0.93	27.95	1.28	-21.60	0.78	-48.19	0.52	-23.55	0.76	-6.60	0.93	0	1	1

1) 氧化物全量文献[3]; 2) A为积层相对量应用 Mohr 计算方法¹⁾; 3) R为应用 Mcseal 计算方法¹⁾。

表 10 元素全量在粘粒(<0.002mm)中富集率
Table 10 Accumulative ratios of chemical composition of clay fraction
(<0.002mm) in Albic soils

土壤剖面 Profile	发生层 Horizon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂
87-白-1	A ₁	0.83	1.47	1.60	1.00	1.18
	W	0.79	1.68	1.71	1.69	1.51
	WB	0.83	1.50	1.83	1.27	1.22
	B	0.84	1.42	1.65	1.08	1.16
	C	0.81	1.42	1.72	1.22	1.16
	平均±S	0.82±0.02	1.50±0.11	1.70±0.09	1.25±0.27	1.25±0.15
	V. C.	0.0224	0.0726	0.0504	0.2158	0.1217
87-白-2	A	0.79	1.82	2.29	1.06	1.67
	AW	0.78	1.92	2.09	1.15	1.63
	W	0.74	1.78	2.06	1.63	1.48
	B ₁	0.83	1.56	1.75	0.79	1.32
	B ₂	0.81	1.48	1.67	1.18	1.14
	C	0.80	1.50	1.71	1.57	1.12
	平均±S	0.79±0.03	1.68±0.18	1.93±0.26	1.23±0.32	1.39±0.24
V. C.	0.0359	0.1099	0.1324	0.2587	0.1715	
87-白-3	A	0.69	2.10	2.68	1.84	1.67
	P	0.68	2.11	2.68	1.99	1.12
	W ₁	0.69	2.21	2.86	1.67	1.21
	W ₂	0.70	2.55	3.25	1.38	1.41
	B	0.71	2.27	2.92	1.09	1.43
	BG	0.74	1.79	1.98	1.04	1.18
	平均±S	0.70±0.02	2.17±0.25	2.73±0.42	1.50±0.40	1.25±0.13
V. C.	0.0277	0.1152	0.1545	0.2632	0.1055	
87-白-4	A	0.75	1.83	2.35	1.20	1.22
	P	0.76	1.79	2.51	1.32	1.27
	W	0.75	1.81	2.20	1.08	1.19
	B	0.75	1.91	1.87	0.65	1.17
	BG	0.81	1.54	1.64	0.85	1.07
	平均±S	0.76±0.02	1.8±0.14	2.11±0.35	1.02±0.27	1.19±0.08
	V. C.	0.0322	0.0796	0.1675	0.2638	0.0640

S 为标准差, V. C. 为变异系数。

积层中都发生了淋失。表 10 可看出, 铁、铝、锰和钛向粘粒富集, 硅则从粘粒中淋失。其富集率分别: Fe₂O₃ 为 1.7—2.73, MnO 为 1.02—1.50, Al₂O₃ 为 1.5—2.17, TiO₂ 为 1.19—1.39。富集序列是 Fe₂O₃ > Al₂O₃ > MnO > TiO₂。有些研究认为^[9,15,16], TiO₂ 在土壤中是惰性元素, 这是不尽确切的。因为 TiO₂ 并非不发生再分配过程, 只不过富集率很小而已。但从土壤中没有绝对不迁移的元素来看, TiO₂ 仍不失为一种计算土壤中元素迁移量的指示元素。另外, 同一剖面不同层次粘粒中元素富集也有一定的规律性。MnO 在白浆层粘粒的富集要高于淀积层。Fe₂O₃ 受土壤条件的影响, 在 87-白-1, 87-白-2 和 87-白-4 剖面中白浆层粘粒中富集要高于淀积层。而在 87-白-3 剖面中正好相反。Al₂O₃ 在

白浆层和淀积层粘粒中富集率接近。从剖面的平均富集率看, 87-白-3 剖面铝铁富集率最高, 其次是 87-白-4, 87-白-2 和 87-白-1 剖面最低。说明亚热带稻田生态条件下比温带森林生态条件下更利于铁、锰、铝等物质的释放与移动。

三、结 语

综上所述, 可以得出以下结论: (1) 从以非粘粒为基础计算非粘粒颗粒分布、土壤的硅铝率、铝钾镁率以及非粘粒为基础计算的土壤 TiO_2 含量这几方面来衡量, 研究的几个白浆土剖面母质是同源, 而不是“双层母质”。白浆土在机械组成上具有上砂下粘的“双层性”, 这是粘粒在成土过程中淋淀的结果。(2) 白浆土元素化学分异特征表现为: SiO_2 和 MnO 在白浆层中富集, Fe_2O_3 在淀积层中富集, Al_2O_3 富集情况受成土条件的影响; Fe_2O_3 、 MnO 、 Al_2O_3 和 TiO_2 向粘粒粒级中富集, 而 SiO_2 向粗颗粒粒级富集。

参 考 文 献

1. 徐琪, 1979: 关于灰化土与白浆土的研究进展。土壤学进展, 第 1 期, 21—39 页。
2. 律兆松, 徐琪, 1991: 白浆层形成过程中某些问题的探讨。土壤学进展, 第 19 卷 6 期, 11—16 页。
3. 曾昭顺等, 1963: 论白浆土的形成与分类问题。土壤学报, 第 10 卷 2 期, 111—129 页。
4. 高子勤等, 1988: 白浆土形成过程中某些物理、化学性质的研究。土壤学报, 第 25 卷 1 期, 13—21 页。
5. 徐琪, 1962: 长江中下游白土的地理分布规律及其形成特点。土壤学报, 第 10 卷 1 期, 44—54 页。
6. 魏克循等, 1985: 论豫南土壤白散化过程。土壤通报, 第 16 卷 4 期, 175—179 页。
7. 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析。上海科学技术出版社, 511—514, 522—525 页。
8. 郑春荣等, 1985: 土壤全量快速分析-碳酸锂-硼酸-石墨粉坩埚熔样法。土壤, 第 17 卷 1 期, 34—35 页。
9. Barshad, I., 1955. Soil development in Chemistry of the Soil. Edited by F. E. Bear: 1—52.
10. Price, T. W., et al, 1975: Lithological Discontinuity in Loessial Soils of Southwestern Kentucky. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39(1): 94—97.
11. Rutledge, E. M., et al, 1975: Loess in Ohio in relation to several possible source areas: I. Physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39(6): 1125—1132.
12. Rutledge, E. M., et al, 1975: Loess in Ohio in relation to several possible source areas: II. Elemental and mineralogical composition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39(6): 1133—1139.
13. Drees, L. R., et al, 1973: Elemental variability within a sampling unit. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 82—87.
14. Evans, L. J., et al, 1975: Quantitative pedological studies on soils derived from silurian mudstones. IV. Uniformity of the parent material and evaluation of internal standards. J. Soil Science 26: 319—326.
15. Chapman, S. L., et al, 1968: Parent material uniformity and origin of silty soils in northwest Arkansas based on Zirconium-titanium ratios. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32: 265—271.
16. Sudom, M. D., et al, 1971: Use of Quartz, Zirconium and Titanium as indices in pedological studies, Can. J. Soil Sci. 51: 385—396.

STUDY ON ALBIC SOILS IN CHINA

I. MECHANICAL COMPOSITION AND GEOCHEMICAL ELEMENTAL VARIABILITY

Lü Zhaosong and Xu Qi

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

Summary

Four typical profiles of albic soils from the main distribution areas in China were collected to study for mechanical composition, chemical properties and geochemical elemental variability of albic soils. The main results are summarized as follows:

1. The particle size distribution of the non-clay fraction and soil TiO_2 content calculated on the basis of >0.002 mm soil particles, the $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ of soil and $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{K}_2\text{O} + \text{MgO})$ of non-clay fraction proved that each profile has a uniform parent material.

2. The mechanical composition of albic soil has a property of "double layers". The argillic horizon contains much more clay than the albic horizon. The ratio of clay in the argillic horizon to that in the albic horizon is >1.2 .

3. During the soil-forming process, clay moves from the albic horizon to argillic horizon, which, rather than the lithologically uncontinuous deposition of parent material, results in the "double layers".

4. The properties of geochemical elemental variability are that SiO_2 and MnO were enriched in the albic horizon while Fe_2O_3 in the argillic horizon; Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 and Al_2O_3 were enriched in clay, but SiO_2 in the non-clay fraction.

Key words Albic soil, Mechanical composition, Chemical properties, Geochemical elemental variation