

# 論白浆土的形成和分类問題\*

曾昭順 庄季屏 李美平

(中国科学院林业土壤研究所)

## 引 言

我国黑龙江和吉林两省东部及其毗邻的苏联远东如伯力、沿海边区和阿穆尔州等地广泛分布着一种具有白色亚表层的土壤,我国当地农民称之为白浆土。

关于这种土壤的形成过程問題,从 К. Д. Глинка (1910) 和 В. А. Бальц, Б. Б. Польшов (1930) 开始研究苏联远东和我国东北地区的土壤以来,中苏两国大多数土壤学家一直认为是灰化过程,称之为灰化土或生草灰化土<sup>[1,2]</sup>。1947年 Ю. А. Ливеровский 发现这种灰化土的分析結果中含有代換性鈉,提出了脱碱过程的想法,并改称为不同脱碱程度的灰色森林土、脱碱土和草甸碱化-盐化脱碱土<sup>[3]</sup>。1956年在其中苏黑龙江流域的共同綜合考察中,两国土壤学家对这两种看法开展了热烈的討論,但未取得一致意見。同年在烏苏里江两岸的土壤和地植物調查中,我們特別注意了白浆土的地理分布和形成問題,提出了第三种看法,即认为这种土壤受粘重的成土母质和季风气候的影响較深,白色亚表层是表层瀦育(周期性“积”水)淋溶的結果。为避免与灰化土和脱碱土混同起見,曾建議暫以我国农民习用的白浆土命名<sup>[4]</sup>。嗣后在1957—1959年黑龙江流域的繼續考察中,中苏土壤工作者更全面地了解了两国白浆土的分布和特点,并在各自地区进行了重点研究,积累了較多的資料。目前关于白浆土形成过程的想法,虽然还不是完全一致,但比从前更为接近,也就是大多数人认为不是灰化土;支持脱碱看法的人也不多;主张表层瀦育的人則日益增加。在命名上多采用了白浆土,与苏联羣众相当的名称則为白韶土(подбел),所以最近苏联土壤文献中又有草甸白韶土(Луговой подбел)和森林白韶土(Лесной подбел)之称<sup>[5,6]</sup>。

白浆土是目前黑龙江和吉林两省东部地区主要耕地土壤之一,生荒地的开发利用也日益增多,怎样因地制宜地进行耕作和施肥还有一些問題;近年国内其他各地也陸續发现了不少与白浆土类似的白土,也是当地的低产土壤之一<sup>[7]</sup>,可見白浆化过程不限于东北,可能具有更为广泛的意义。因此,我們根据1957年以来所获得的部分研究資料,再談談白浆土的形成过程,以供有关方面参考。至于白浆土的利用与改良資料拟另文討論,此处从略。

## 一、白浆土的地理分布和成土条件

白浆土分布于我国小兴安岭和长白山等山区的兩側,但以东側为最多。从海拔40—

\* 这一工作是在宋达泉先生指导下进行的,参加工作的有高殿蛟、肖篤宁、唐介寿等同志。

50 米到 700—900 米都可以見到白浆土,但主要是在山区的外緣,即在紅松闊叶林或暗棕色森林土的下部;南部分布的海拔較高,北部較低。白浆土的分布面积和发育程度,大致与这个地区季风雨的強度相应,即以东部和南部季风雨較多的地方为最多,发育也最好;西部和北部随着大陆性气候影响的逐漸加强,白浆土的分布也越来越少,并以零星島状的形式,分布于暗棕色森林土和黑土之間的边緣地带,和它們形成混区。

白浆土分布地区的气候特点是冬季寒冷干燥,夏季温暖湿润。全区  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温为 2,000—2,500 $^{\circ}\text{C}$ 。7 月均温 22 $^{\circ}\text{C}$  左右,1 月均温为 -15—-20 $^{\circ}\text{C}$ ,年绝对最低均温达 -35 $^{\circ}\text{C}$ 。土壤表层冻结时间 150 天左右,土层中从开始冻结到完全融通的时间則长达 200—240 天。冻结深度 150—180 厘米,全区干燥度大部在 1.0 以下。年降水量一般为 500—600 毫米,个别地区或个别时期可高达 700—800 毫米。由于季风气候的影响,降水的分布极不均匀,暖季(5—10 月)降水較多,占年降水 88%;冷季(11—4 月)降水特別少,仅占 12%(佳木斯、牡丹江、延吉)。由于土壤季节性冻层延續的时间較长,土壤質地粘重,暖季降水又特別集中,所以白浆土地区在春季融雪化冻及夏秋降雨頻临之际,土壤表层水分过多,有些地势低平的地方,地面并有短期积水。

白浆土在地形上主要位于低平原、河谷阶地、山間谷地和盆地、山前台地和部分熔岩台地。这些地区在地质构造上大部是过去的沉降地带,但从第三紀晚期或第四紀更新世以来,由于新构造运动的影响,則逐步上升起来。因上升的时间、强度和幅度不一致,形成了年龄、高度和寬度不同的阶地或台地<sup>[8,9]</sup>,但坡度一般都不大,平坦而微有傾斜。在地质沉降过程中,上述地区堆下了大量松散的沉积物,上层則以河-湖状粘土沉积物为主。因此,白浆土的成土母质都很粘重,大部为輕粘土或重壤土。机械組成以粘粒( $<0.001$ 毫米)和粗粉砂(0.05—0.01 毫米)占的比重最大,前者占 30—40% 左右,个别土层还可以高到 60% 以上;后者則为 20—30% 上下。由于母质机械組成粘重,透水不良,白浆土的水分几乎完全不能透到下层,在降水过多时,便形成上层滞水。

白浆土的微域分布受母质和地形的影响很大。根据近年野外多次观察結果,都有这样一个規律:凡是母质輕松或坡度較大、土壤透水或地形排水較好、土层中以氧化过程为

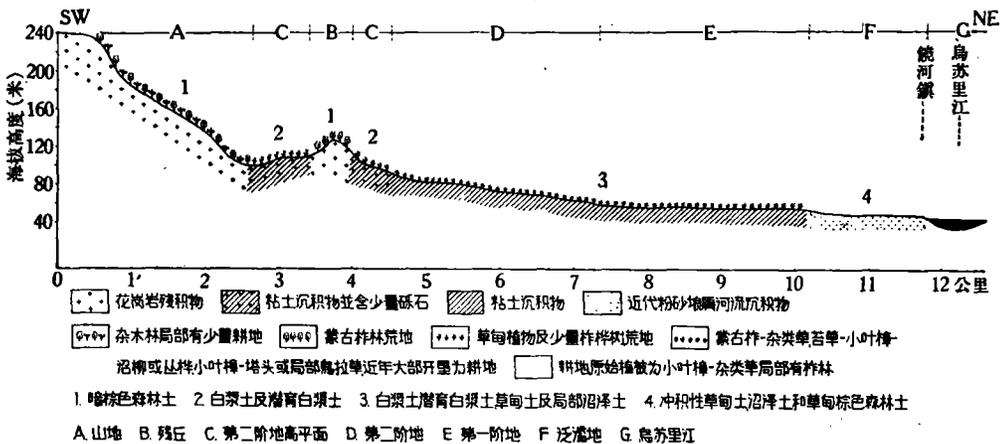


图 1 黑龙江虎县鏡河地区地形植物土壤及母质剖面图  
(比例: 橫 1:100,000; 縱 1:8,000)

主的地方,都发育为暗棕色森林土或草甸暗棕色森林土;母質粘重或地势低洼、土壤透水不良、地面經常积水、土层中还原过程較为稳定者,都形成了潛育土或沼澤土;母質粘重,地势微有起伏,土壤透水不良,土层上部有时有滯水,有时較为干燥,地面基本不积水,有时虽有但为时不长,土层中氧化还原过程交替进行者,則发育成白漿土。因此,白漿土的分布只見于那些母質粘重、地势微有起伏的阶地或台地上,至于泛滥地、殘丘、山地或阶地中坡度較陡的地方,或由于母質輕松,土壤透水快;或由于地形排水良好,都沒有白漿土的分布(图 1)。新构造运动对白漿土的形成和发展也有一定的影响。由于地形的逐步抬高,土壤水分条件的由湿变干,使植被和土壤发生相应的变化,因而白漿土分布地区从低处向高处可以見到沼澤土→草甸沼澤土→潛育白漿土→草甸白漿土→白漿土的明显过渡。Э. А. Корнблюм 等在討論黑龙江沿岸平原地区白层土壤的发生时,也讲到 Л. Д. Ярошенко 曾在苏境兴凯湖地区莫河 (Р. Мо) 阶地上見到一块沼澤土在 10 年左右的时间內因为水分变干而出现了白色土层<sup>[5]</sup>。在上述土壤演化系列中,白漿土的发育阶段較老,淋溶時間較长,因而白漿层 (Aw)<sup>1)</sup> 最明显, pH 和盐基饱和度都比較低。

白漿土分布地区的地下水一般都比較深,并有一个質地粘重的隔水层,地下水对土壤形成的影响不大。但由于母質粘重,地形平坦,降水集中,在連續久雨或一次暴雨之后,在土层上部就会出现短期上层滯水,或称土壤-地下水。地势低平的地方还会有临时性的地表积水。这些水对于白漿土的形成和发展却具有特別重要的作用。白漿土地区泉水、井水、江水及地表水的 pH 值由 5.5 到 7.7,并含有較多的  $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{SiO}_2$ , 水的化学組成属于

表 1 白漿土分布地区地下水、地表水及土壤水化学分析(毫克/升)\*

采样地点及水的种类	pH	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
山前泉水	6.6	17.1	0.7	3.8	3.2	1.6	11.6	痕迹
高阶地井水 (井深 28 米)	7.4	99.3	8.2	25.9	13.2	5.2	18.8	痕迹
低阶地井水 (井深 8 米)	7.7	187.3	8.2	33.6	27.6	15.1	23.3	5.4
高泛滥地井水 (井深 4 米)	7.5	130.5	7.4	34.6	62.6	32.5	14.1	痕迹
烏苏里江水	6.9	37.2	1.1	5.3	8.0	2.2	10.1	0.24
高阶地地表水	5.5	67.1	7.1	40.8	4.6	2.1	—	—
低阶地地表水	7.1	25.5	0.7	27.4	7.4	1.2	6.5	痕迹

\* 水样采自黑龙江省虎饒县饒河鎮西饒宝公路沿綫各級阶地上, 1958 年 8 月 20—25 日采样。

1) 白漿层, 过去土壤文献中都用  $A_2$  为代表, 但  $A_2$  一般是指灰化土的亚表层。近年有些土壤工作者鉴于白漿土中表层潜育现象較为明显, 为表明这个土层与灰化土有所不同起見, 或暫用“ $A_2$ ”, 或改用  $A_{2g}$  或  $A_{2g}^{(4-0)}$ 。但  $g$  一般是指潜育层, 与白漿层的实际情况不完全相同。朱蓮青、宋达泉等在水稻土土层的分类命名概則中, 曾將滲透水或潛水长期潜积的土层定名为潜育层, 以  $G$  为代表; 土表水分或潛水暫时潜积的土层, 則称为潜育层, 以  $w$  为代表<sup>[10]</sup>。白漿层的特点与潜育层相近。因此, 我們建議改用  $A_w$ 。本文以下均用  $A_w$  代替  $A_2$ 。

重碳酸盐-硅酸盐水。从山前泉水、高阶地井水到低阶地井水,  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  均有逐渐增多的趋势;江水中含量一般比较低;高泛滥地井水由于受阶地井水和江水两方面的影响,有些成分继续增加,有些则有所减低(表 1)。

在白浆土上可見到各种不同的植物羣落,根据近年調查資料,主要有:(1)苔草—小叶樟;(2)小叶樟—沼柳;(3)小叶樟—丛樺或苔草—丛樺;(4)白樺—山楊;(5)蒙古柞杂类草;(6)杂类草(五花草);(7)落叶松—白樺;(8)紅松闊叶林。在这些植物羣落中以蒙古柞杂类草和丛樺—小叶樟所占的比重最大;苔草—小叶樟和紅松闊叶林則比較少。由于白浆土在植物生长季节中土壤水分比較丰富,所以这些植物羣落虽然不尽相同,但仍有一些共同的特征,即以喜湿性的植物較多,并以草甸及草甸沼泽草本植物占优势。例如木本植物中有落叶松 (*Larix dahurica*), 白樺 (*Betula manshurica*), 水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*), 丛樺 (*Betula fluticosa*), 沼柳 (*Salix brachypoda*), 毛赤楊 (*Alnus hirsuta*), 等等;在草本植物中則有草莓萎陵菜 (*Potentilla fragalioides*), 苔草 (*Carex* ssp.), 小叶樟 (*Calamagrostis hirsuta*), 金蓮花 (*Trollius ledebourii*), 等等。必須指出,在白浆土分布地区中某些砂質崗地或山地石質陡坡上,由于土壤透水良好,含水率低,确有若干草原性植物,如兔毛蒿 (*Tauacitum sibiricum*), 野古草 (*Arundinella anomala*), 落草 (*Koeleria cracilis*), 細叶胡枝子 (*Lespedeza hedysaroids* Kitagawa), 細叶沙参 (*Adenophora stenophylla*), 等等。但在这种植被下所形成的土壤都是暗棕色森林土或草甸暗棕色森林土,与白浆土沒有直接关系,不能混为一談,更不能以此作为依据,认为这个地区具有草原景观特征。

在植物生长期內,白浆土表土水分較为丰富,植物生长繁茂。心土水分較少,粘紧,根系穿透困难,因而植物根系均集中于表层,并沿地面呈水平方向发展。根据饒河地植物定位研究資料,植物地上部分每年有机物的积累量,如以苔草—丛樺羣落为例,每公頃干重为 3,000—4,000 公斤(1958 年 8 月初調查)<sup>[11]</sup>,与东北黑土有机物年累积量相近,但根系发展則大不相同。白浆土根系以  $A_1$  层为最多,占总根重 79.5%,  $A_1$  层以下則急剧下降,如  $A_w$  为 13.2%,  $A_wB$  5.7%,  $B_1$  1.1%,  $B_2$  0.6%。这种植物殘体累积和分布的特点,对白浆土某些理化性質以及肥力特征均有很大的影响。

## 二、白浆土的物理性状

白浆土的質地都比較粘重(表 2),  $A$  层大部为重壤土或中壤土;  $B$  层或  $BC$  层为輕粘土或中粘土。顆粒組成中以粘粒 ( $<0.001$  毫米)和粗粉砂 ( $0.05—0.01$  毫米)兩級的比例为最大。無論从物理性砂粒 ( $>0.01$  毫米)或粘粒在剖面中的分布情况看,都可以見到  $A$  层和  $B$  层(包括  $BC$  层)或  $C$  层的差別很大,具有明显的“二层性”,例如  $A$  层和  $B$  层粘粒的比例为 0.40 到 0.46,表明  $A$  层粘粒含量仅为  $B$  层的 43% 左右。 $B$  层上部粘粒含量較下部高,表明粘粒的淋移也很显著。关于“二层性”的成因及其对于成土过程的影响,在土壤文献中曾有一些报导<sup>[12-14]</sup>。在成因方面有两种看法:一种认为是两次不同的沉积物(Б. Г. Розанов, 1957; 于天仁, 1959);另一种則认为是一次沉积,后来在风化及成土过程中,由于脫鈣(Декальцификация)及脫泥(Декольматация)作用的結果,使上部質地較輕,下部較粘(И. П. Герасимов, 1959)。在土壤形成方面,看法則比較一致,即在

粘重土层的上部,引起临时性的积水,进行瀦育过程,使土色变淡,形成“白土”或“假灰化土”。我国东北及苏联远东地区白浆土母质的“二层性”较为普遍,对白浆土形成和发展的影响很大,但其成因尚需进行专门研究。

表 2 白漿土的机械組成(卡庆斯基法)

剖面号碼	采集地点	层次	采样深度(厘米)	各級顆粒(毫米)含量(%)								土壤質地名称	分析者
				1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001	>0.01	<0.01		
57-黑-114	黑龙江省黑河专区嘉荫县高升屯西南5公里	A <sub>1</sub>	0—10	7.0	3.5	43.4	10.8	18.2	17.1	53.9	46.1	重壤土	艳碧娟
		Aw	15—25	8.3	8.3	37.9	12.8	13.4	19.3	54.5	45.5	重壤土	
		Aw'	35—45	3.9	4.5	44.6	9.3	16.1	21.6	53.0	47.0	重壤土	
		B <sub>1</sub>	70—90	2.5	3.0	26.1	8.7	11.9	47.8	31.6	68.4	中粘土	
		B <sub>2</sub>	120—130	6.9	7.6	27.2	6.7	13.0	38.6	41.7	58.3	輕粘土	
		BC	140—150	5.8	5.1	31.1	6.5	10.8	40.7	42.0	58.0	輕粘土	
AC-1	黑龙江省虎林县饒河西1.5公里	A <sub>1</sub>	0—7	7.4	15.7	46.2	17.10	6.7	6.9	69.3	30.7	中壤土	王秀灵
		Aw	10—20	5.7	6.8	36.6	18.3	16.3	16.3	49.1	50.9	輕粘土	
		AwB	30—40	3.4	24.2	20.4	15.3	13.9	22.8	48.0	52.0	輕粘土	
		B	60—70	0.5	12.5	19.9	12.6	12.6	41.9	32.9	67.1	中粘土	
		BC	100—120	0.8	3.6	32.2	13.5	12.5	37.4	36.6	63.4	輕粘土	
		C	150—160	0.8	5.9	30.0	13.5	14.5	35.3	36.7	63.3	輕粘土	
54-吉松-12	吉林省蛟河县小东沟北3公里	A <sub>1</sub>	0—15	1.5	9.4	29.5	30.2	16.0	13.4	40.4	59.6	輕粘土	苏玉兰 刘振英
		A <sub>1</sub> Aw	15—28	0.4	18.6	32.4	7.8	23.9	16.9	51.4	48.6	重壤土	
		Aw	28—55	1.4	29.6	12.4	17.9	20.1	18.6	43.4	56.6	輕粘土	
		B	55以下	1.0	3.8	29.2	13.5	14.4	38.1	34.0	66.0	中粘土	

白浆土比重的变化不大(表3), A<sub>1</sub>层由于富含腐殖质,比重較小,由2.2到2.4; A<sub>1</sub>层以下直到母质,比重大部在2.5左右。土壤容重呈同样趋势, A<sub>1</sub>层較低,由0.5到0.8克/厘米<sup>3</sup>, A<sub>1</sub>层以下则为1.5—1.6克/厘米<sup>3</sup>。孔隙度除 A<sub>1</sub>层为70%左右以外,其余各层均

表 3 白漿土的某些物理性質

剖面号碼	采集地点	层次	采样深度(厘米)	比重	容重(克/厘米 <sup>3</sup> )	孔隙度(%)	透水速度(毫米/分)
AC-1	黑龙江省虎林县饒河西1.5公里烏苏里江第一阶地	地表					12.81
		A <sub>1</sub>	0—7	2.35	0.76	67.7	5.76
		Aw	7—25	2.55	1.44	43.5	0.22
		Aw'	25—49	2.56	1.56	39.1	0.32
		B	49—86	2.45	1.49	39.2	0
		BC	86—130	2.52	1.61	36.1	0
AC-3	黑龙江省虎林县饒河西7.5公里烏苏里江第二阶地	地表					14.66
		A <sub>1</sub>	0—7	2.23	0.54	75.8	7.05
		A <sub>1</sub> Aw	7—11	2.43	1.07	56.0	0.34
		Aw	11—42	2.55	1.61	36.9	0
		B	42—75	2.45	1.48	39.6	0
		BC	75—105	2.45	1.46	40.4	0
C	105—130	2.52	1.48	41.3	0		

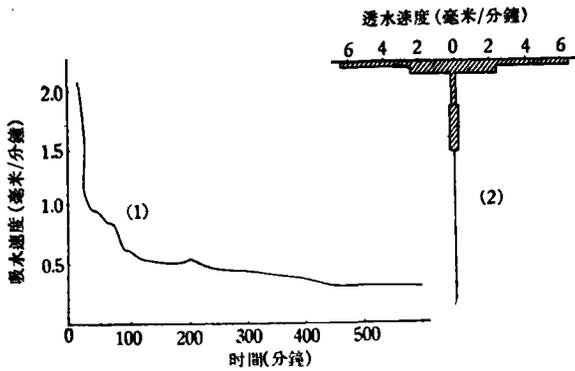


图2 白浆土透水速度 (AC-1)  
 (1) 全土层吸水速度 (Pama 法)  
 (2) 各层透水速度 (卡卡斯基法)

比較小，一般为 35—40% 左右。

由于白浆土B层質地特別粘重，A<sub>1</sub>层以下又很板結，孔隙少，所以透水不良。不同土层的透水試驗結果表明：除地表及 A<sub>1</sub>层透水較快外，Aw层透水極弱，每分鐘透水由 0.2 到 0.3 毫米；B层以下則完全不透水 (表 3，图 2 (2))。全土层吸水及滲漏試驗結果也可以看出同样趨勢 (图 2 (1))。如以剖面 AC—1 为例，由于 A<sub>1</sub>层富含腐殖質，疏松多孔，土层开始吸水較快，半小时内吸水量为 1—2 毫米/分鐘。但是这个土层很薄，含水量不大，一小时半以后便迅速下降到 0.5 毫米/分鐘，4 小时以后滲漏更慢，每小时也只有 0.3 到 0.4 毫米。由于这种透水不良的影响，白浆土中每当季风雨較为集中之时，大部分降水就首先集中于 A<sub>1</sub>层；当降水繼續增加时，便逐步由 A<sub>1</sub>层累积到 Aw层；但 B 层不透水，A 层含水量不大，如降水再增加，表层土壤水分飽和或出現上层滯水时，則以側流形式沿着不大的緩坡流向低处。因此，白浆土的水分类型实际上属表层滯水側渗类型。

水分季节动态观测資料 (图 3) 也初步反映出白浆土水分物理性質的一般情况，虽然这种观测还只有一个生长季节；观测当年 (1958) 的气候又比較干旱，降水分布也較为均匀，白浆土的水分状况还没有完全表現出来。从图 3 中可以見到白浆土的水分主要集中在 A<sub>1</sub>层和 Aw 层的上部。在这 10 厘米左右的土层中，土壤含水率最高 (占干土重 30% 到 50% 之間)；变动幅度也最大。Aw 层下部由于上层大量植物根系活动的結果，在 1958 年气候比較干旱的条件下，暂时出現了一个低湿层，土壤含水率 <20%。当然在降水較为集中的情况下，根据历年野外大量試坑观察結果，这个土层还有短期积水。B 层以

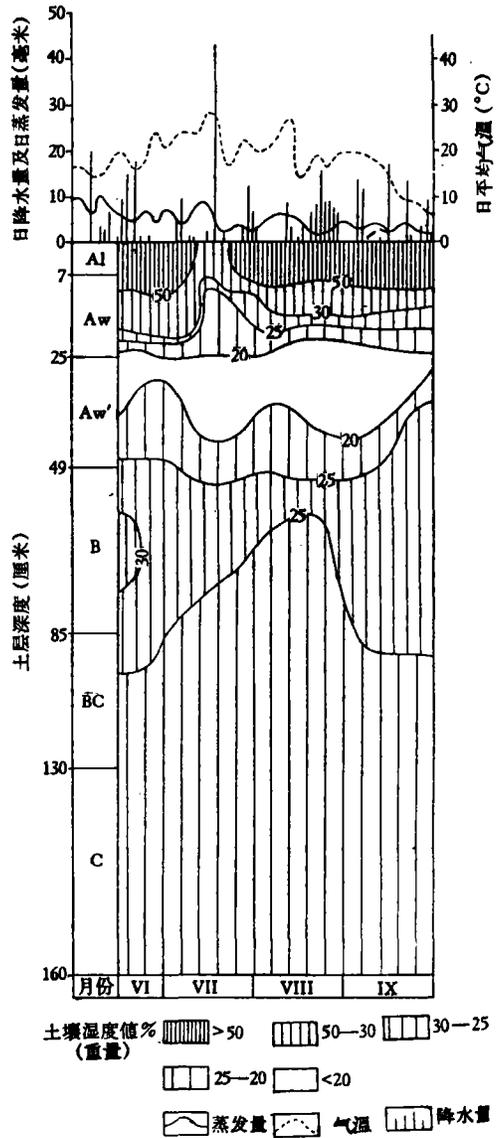


图3 白浆土水分季节性动态 (1958)

下由于不透水,植物根系很少,在以草甸草本植物为主的条件下,生物气候的影响不大,土壤湿度比較稳定,含水率大都为 25—30% 左右,在 BC 层或 C 层以下有一个长期比較干的土层。层次間和季节中的变化都不大。春季由于积雪和冻层融化,夏秋由于降水集中的影响,这两个时期中白漿土的水分都較为丰富,表层土壤含水率均达到 50% 以上。但 7 月由于气温高,蒸发量大,植物生长也是最旺盛的季节,蒸騰作用特別強烈,所以这个时期的降水虽然很多,但土壤水分却不高,含水率一般为 20—30% 左右。

由上述水分物理性質和水分季节动态的观测結果看来,白漿土的水分特点主要是表层水分最多,变动最大;B 层以下水分較为稳定。由于表层薄和容水量不大,因而表层水分又因降水、蒸发、蒸騰等因素的影响,經常处于干湿交替状态。

### 三、白漿土中硅鉄的移动和淀积

土壤中鉄的移动和淀积受有机質、水分和通气条件的影响很大。从前面各节中我們已經見到白漿土的有机物集中于表层;表层孔隙度最大;水分也最多,并經常处于干湿交替状态,因而白漿土中鉄的移动和淀积也有相应变化的趋势。表 4 是白漿土自然溶液中 FeO 及 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 季节动态的分析結果。从表 4 中可以見到白漿土中 FeO 及 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 也是以 A<sub>1</sub> 及 Aw 层为最多,变动幅度也最大;B 层以下含量不高,或者根本測不出来。氧化还原电位,也是 A 层較低, Eh 約为 500—600 毫伏左右;B 层較高, Eh 則为 750 毫伏上下。A 层之中由于測定当时水分条件的不同, Aw 层 Eh 有时較低 (372 毫伏);有时則与 B 层相近 (750 毫伏)(图 4)。

表 4 白漿土土壤溶液\* 中鉄 (FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 的季節动态 (毫克/升) (1958 年)

剖面号碼	土壤名称	层次	采样深度 (厘米)	采 样 时 間						
				6月17日	6月30日	7月15日	8月4日	8月20日	9月5日	9月25日
AC-3	白漿土 (高阶地)	A <sub>1</sub>	0—7	4.5	23.7	10.6	3.0	16.4	4.4	3.4
		Aw	7—11	21.8	14.7	5.7	5.1	—	—	1.7
		B	20—30	5.8	3.0	0.5	0.6	—	1.6	1.3
		BC	50—60	1.2	3.0	5.6	—	—	0.2	0.6
		C	80—90	1.1	—	—	1.0	—	—	0.4
AC-1	白漿土 (低阶地)	A <sub>1</sub>	0—7	22.6	6.0	—	4.2	6.1	8.1	6.2
		A <sub>1</sub> Aw	20—30	4.2	0.5	0.1	2.8	—	4.0	0.8
		Aw	60—70	7.2	0.7	1.6	2.0	1.0	0.1	1.5
		B	110—120	—	—	—	0.8	—	—	1.6
		BC	150—160	4.7	—	—	—	—	—	—

\* 土壤溶液系用每平方厘米压力为 150—300 公斤的压榨机压出的自然溶液,在当地当时进行分析。采样地点同前。

白漿土全剖面几乎都有鉄錳結核,但大部都集中于 A<sub>1</sub> 及 Aw 层,两层鉄子約占干土重 3—14% 并以 Aw 层为最多;B 层以下除 AwB 层等过渡土层,鉄子含量尚有 0.5—1% 左右以外,其余各层均在 0.1% 以下。A 层和 B 层的鉄子含量相差很大,截然不同(图 5)。鉄錳結核的直径大部为 1—3 毫米。化学組成差异不大,据 B. И. Росликова 的分析,如剖面 232, 含 SiO<sub>2</sub> 55—58%, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 32—40%, MnO 1—5%<sup>[15]</sup>。根据土壤薄片观察及化学

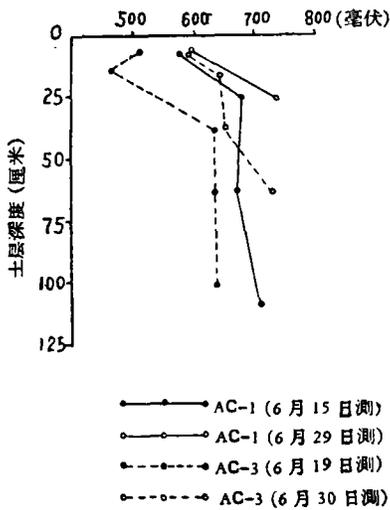


图4 白浆土氧化还原电位(1958)

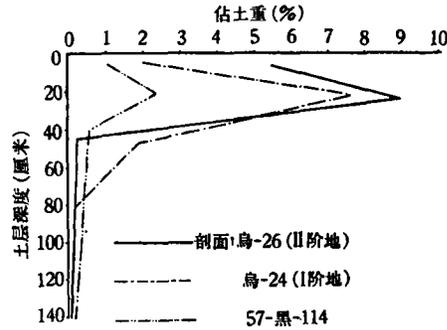


图5 白浆土剖面中铁子分布

分析, A<sub>1</sub> 层铁锰结核中, 并含有较多的腐殖质。所有铁锰结核中都包含有石英碎粒(图版5, 6, 7, 8)。

白浆土 Aw 层中由于大量铁锰结核的形成, 使原来这个土层中均匀分布的铁锰等有色矿物大部分集中到这些铁子之中; 另一部分当降水集中、土壤表层水分饱和或出现短期上层滞水时, 则以活性状态随着侧渗水流沿平缓的斜坡流出土层以外, 这就使得 Aw 层的颜色变淡, 形成一个在形态上与灰化土颇为相似白色或草黄色的淋溶层。但这是一种表层潜育淋溶的结果。根据 W. L. Kubična 在“欧洲土壤”中关于潜育状土壤 (gley-like soils) 的描述, 白浆土的某些性质与假潜育土 (Pseudogley) 相近<sup>[16]</sup>。

在白浆土剖面中除铁子以外, 经常可以见到白色粉末。这种白色粉末的形成, 也是一个很复杂的问题, 有各种不同的解释, 如灰化、脱碱或铝硅酸盐原地水解, 等等。近年根据 B. A. Ковда 及 Э. А. Корнблюм 等人的研究, 则认为是生物水成淀积的结果<sup>[5, 17]</sup>。

土壤薄片研究资料表明(参见下节土壤薄片描述), 在白浆土表层中, 由于草甸草本植物的影响, 含有大量植物性硅石。在白浆土分布地区的泉水、井水、江水、地表水和土壤水也发现含有大量的 SiO<sub>2</sub>, 每升水中由 7 到 23 毫克(表 1)。土壤自然溶液中 SiO<sub>2</sub> 更多, 最高量可达到 29.7 毫克/升。这种 SiO<sub>2</sub> 可以溶胶状态或以 HSiO<sub>3</sub><sup>-</sup> 及 SiO<sub>3</sub><sup>-</sup> 离子状态存在

表5 白浆土及草甸土 5% KOH 浸出液中硅铝含量

土壤名称及采样地点	层 次	深 度 (厘米)	5% KOH 提取量(%)		按 2SiO <sub>2</sub> · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 计算 SiO <sub>2</sub> 剩量 (%)
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
白浆土 (Y-15) 黑龙江省虎林县 讷河镇西低阶地	A <sub>1</sub>	0—4	3.01	1.33	1.44
	Aw	4—48	3.00	1.24	1.54
	AwB	48—70	3.36	0.59	2.67
	B	70—107	2.22	1.02	1.02
	BC	107—143	2.37	1.37	0.76
	C	190—250	2.82	0.95	1.70
草甸土 黑龙江上游库玛 那高泛滥地	A <sub>1</sub>	0—17	3.10	1.08	1.83
	A <sub>1</sub> '	17—37	2.20	1.50	0.44
	B	37—70	1.52	1.27	0.03
	C	70—95	1.01	0.77	0.10

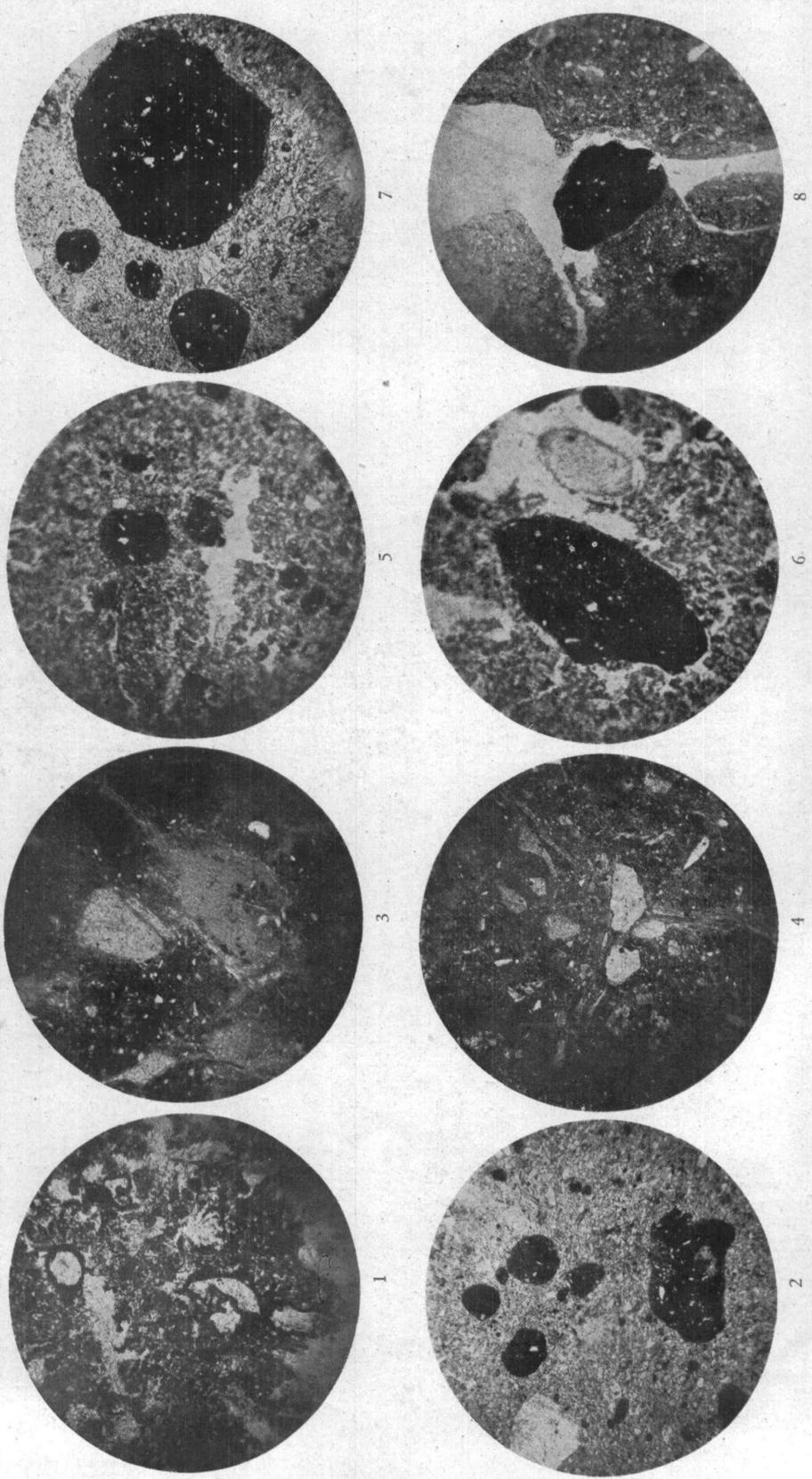
于土壤溶液或土壤-地下水中,当土壤变干,水分消失时,它們便脫水形成无定形的二氧化硅,所以在白漿土A及B层中的結構面上都可以見到白色粉末。K. K. Гедройц 曾分析 5% KOH 土壤浸出液中的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 并按高岭土分子式  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  来計算有无过剩的  $\text{SiO}_2$ 。如果土壤中有剩余  $\text{SiO}_2$  就是脫碱土; 如果没有則为灰化土<sup>[18]</sup>。我們曾用此法分析黑龙江和烏苏里江沿岸的白漿土和草甸土, 发现它們都有这种所謂剩余的  $\text{SiO}_2$  (表 5)。И. И. Базилевич 等在論土壤中无定形硅酸的累积一文中认为过剩的无定形硅酸都是在腐殖質层中, 在湿度过大的土壤中(草甸土、沼泽土)游离硅酸的含量(A<sub>1</sub>层)显著地高于其他土壤。可見这种剩余的  $\text{SiO}_2$  并不是說明灰化土或脫碱土的最好标准。白漿土中无定形硅酸的聚积, 与其說是脫碱过程的結果, 还不如說是草甸过程的特征<sup>[19]</sup>。

#### 四、白漿土粘粒的移动和組成

前面已經講到, 白漿土的水分主要集中于土层的上部, 但在水分飽和或出現上层滯水的情況下, 也有部分水分沿 B 和 BC 层的裂隙或結構面下滲, 因而引起了土壤粘粒的向下移动, 这已为机械分析結果(表 2)所証明。下面是白漿土剖面 57-黑-114 薄片研究的記載<sup>D</sup>(图版 1—8)。

- A<sub>1</sub> (图版 1, 5, 6) 0—10 厘米: 主要的粘土-有机質土体发棕色, 其中矿物碎屑以 0.02—0.04 毫米为多, 但有少数大到 0.3 毫米。矿物碎屑主要是石英和长石, 也有玉髓和少量綠色普通角閃石、石榴石、綠帘石等等。有大量植物性硅石和少量硅藻的骨骼。有很多含有矿物碎屑和腐殖質的棕色鉄質結核, 呈圓形, 其大小由 0.01 到 1 毫米。氫氧化鉄沉淀在某些矿物的表面。有許多活根和大部分已經腐殖質化了的死根以及真菌的菌絲。細小的暗棕色或黑色腐殖質微粒分散于粘質土体中, 或者形成小型的聚集体。由于含有高度分散的粘土物質, 所以这类粘质体呈淡棕色。粘土-有机質土体团聚成微团粒, 大小与矿物碎屑相当。在薄片的不同部位中微团粒的团聚性也不相同。微团粒呈圓形和长圓形, 大小各不相同。
- Aw (图版 2) 15—25 厘米: 粘土-有机質土体几乎无色, 但在粘土物質鉄質化了的地方則呈較深色。粘土物質定向成为細纖維体, 分布方向不一致。矿物碎屑与上层相同, 但个别粒子可大到 0.6 毫米。腐殖質不多。孔隙比較大(直径可达 1.6 毫米), 有些孔隙为細小, 不均質, 具有波状光学定向粘土物質所填滿。
- Aw' (图版 7) 35—45 厘米: 矿物碎屑的平均大小与上层相同。在薄片的某些部位中由于包含于矿物碎屑之間的粘土物質的局部淋失, 矿物碎屑微有集中。有些地方沿裂隙面上有薄层均一的光学定向粘土物質的流痕。鉄質結核大, 直径为 0.08—0.18 毫米, 个别为 0.9 毫米。鉄質結核往往为光学定向粘土所包围, 根系很少。微团粒不明显, 孔隙較小, 直径为 0.4 毫米。
- B<sub>1</sub> 70—90 厘米: 土壤带粘性, 并为許多裂隙(直径 1 毫米或 1 毫米以上)分割成稜柱体。大裂隙的側壁为波状消光程度不同的均質胶状粘土所复被, 而比較小的裂隙則完全被填滿。这种粘土往往为小裂隙所分隔而成层状分布, 并具有明显的多色性。顏色的变化从几乎无色到淡棕色。在粘土中有許多地方由于弥散聚集的氫氧化鉄分布不均匀, 薄片的顏色也极不均匀, 腐殖質少, 鉄質結核也比上层少。
- B<sub>2</sub> (图版 3, 8) 120—130 厘米: 全部粘土体为鮮棕色, 但不均匀。有細微而分散的氫氧化物, 并形

1) 薄片研究是 1958 年在苏联科学院土壤研究所由 Н. И. Горбунов 及 Е. А. Ярилова 的指导和帮助下完成的, 特此致謝。



白浆土薄片显微照相图

1—4为白浆土剖面主要发生层次：1—A<sub>1</sub>层，0—10厘米；2—A<sub>w</sub>层，15—25厘米；3—B<sub>1</sub>层，120—130厘米；4—BC层，140—150厘米；5—6表示A<sub>1</sub>层铁锰结核状况，结核中腐殖质较多（0—10厘米）；7—表示A<sub>w</sub>层铁锰结核状况，35—45厘米；8—表示B<sub>1</sub>层铁锰结核、裂隙及胶膜状况，120—130厘米。（直拍放大50倍，此处照片为直拍照片缩小 $\frac{1}{3}$ 直径大小）

成許多小的聚集体，包含在少数鉄質結核中。有些地方腐殖質微粒和氫氧化鉄構成弥散的斑点。大部分裂隙为均質性的粘土所填滿。有时氫氧化鉄、黑色腐殖質和粘土物質沿着根孔一起分离出来。

BC (图版 4) 140—150 厘米：大的石英、玉髓和长石的粒子(直径由 0.1 到几毫米)增多，鉄質結核很少，腐殖質斑块較多，粘土鉄質化加强，但极不均一，除了顏色很深的部分以外，也有几乎无色的地方。裂隙比較小，且为均質性而色泽强度不同的粘土所填滿。

从这些薄片的图版和描述中也可以明显地見到粘粒下移，并主要集中于 B 层及 BC 层的裂隙及結構面上，細小的裂隙并为粘土所填滿。

但白漿土粘粒的移动，主要是机械淋溶作用(иллимеризация)，粘土矿物并未受到显著的破坏。表 6 是白漿土土体及粘粒(<0.001 毫米)的全量分析結果。从这个表中可以見到各发生层次粘粒部分化学組成的分异不大，粘粒硅鋁鉄率为 2.5 或 3.0 左右，鋁鉄率都在 4 以上。土体部分微有差异，鋁鉄率以白漿层較高，表明鉄的淋溶較为明显。我国和苏联远东地区其他有关白漿土的全量分析結果，如剖面 124、215 (黑龙江省樺南县，黎积祥，1960)；21、274、232 (苏联兴凱湖附近，Ю. А. Ливеровский，1962)，以及剖面 1 (伯力附近，В. М. Фридланд，1958)，等等，也都有同样趋势；有些剖面虽然土体部分化学組成的差异較大，但粘粒部分則比較一致<sup>[6,20,21]</sup>。白漿土粘粒部分的矿物組成，經過差热分析、X 射綫以及电子显微鏡綜合鉴定結果<sup>[22]</sup>，以水云母为主，并有少量的蒙脫石、高岭石和无定形物質。粘粒代換量每 100 克为 40—50 毫克当量左右，說明白漿土中除水

表 6 白漿土土体及粘粒(<0.001 毫米)全量分析  
(按燒灼重計算)

剖面 号碼	采样 地点	层次	采样深度 (厘米)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	代換量 (毫克 当量/ 100克)	备注
57-黑 114*	黑龙江 省黑河 嘉 县高 田升 屯西 5公 里	A <sub>1</sub>	0—10	71.65	17.00	5.30	22.30	1.26	0.91	2.02	1.83	5.98	5.03	土体	
		Aw	35—45	71.53	18.60	4.50	23.10	0.91	1.14	1.54	1.55	5.67	6.49		
		BC	140—150	71.00	18.50	5.00	23.50	0.84	1.78	1.68	1.24	5.57	5.79		
		A <sub>1</sub>	0—10	58.04	26.85	10.00	36.85	0.35	2.54	1.95	0.46	2.97	4.21	47.96	粘粒
		Aw	35—45	55.63	28.85	11.50	40.35	0.32	2.64	1.61	0.63	2.61	3.94	48.47	
		BC	140—150	55.09	30.10	10.30	40.40	0.28	1.67	2.00	0.21	2.55	4.58	49.24	
Y-15**	黑龙江 省虎 林 县 西 3 公 里 宝 公 路 旁	Aw	4—20	72.41	21.06	4.24	25.30	1.10	1.27	1.30	1.40	5.18	7.79	土体	
		B	80—90	71.63	20.00	5.40	25.40	1.69	1.56	1.13	0.89	5.19	5.80		
		C	150—200	70.76	20.05	5.10	25.15	1.49	1.41	0.92	0.91	5.16	6.16		
		Aw	4—20	58.87	27.82	7.70	35.52	0.08	0.59	2.31	0.58	3.06	5.67	44.2	粘粒
		B	80—90	58.33	27.80	7.58	35.38	0.07	0.21	1.81	0.32	3.04	5.75	—	
		C	150—200	55.69	30.18	8.01	38.19	0.09	0.51	0.61	0.30	2.68	5.90	53.0	

\* 苏联科学院土壤研究所分析。

\*\* 中国科学院林业土壤研究所分析。

云母以外，还含有一定量的蒙脫石(表 6)。矿物組成在土层之間的分异不大，具有明显的一致性(图 6)。

近年在土壤文献中經常討論灰化土和淋洗土(Lessivage)的异同問題，到目前为止，虽然意見还不完全一致，但大多数土壤学家認為淋洗土与灰化土的主要区别有三：(1)有活

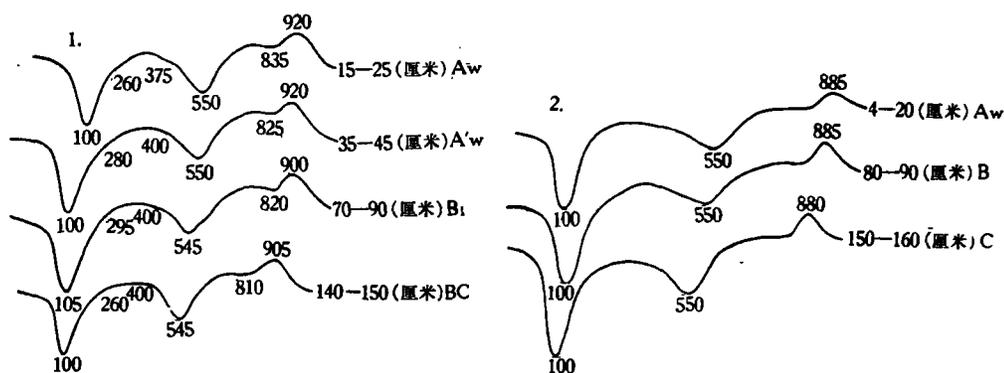


图6 白浆土粘粒( $<0.001$ 毫米)差热曲线

1. 剖面 X-114, 采自黑龙江省嘉荫县稻田乡高升屯西南5公里。

2. 剖面 Y-15, 采自黑龙江省虎林县饒河鎮3公里。

(苏联科学院土壤研究所分析)

动性光学定向粘土;(2)剖面粘粒部分化学组成一致;(3)剖面粘粒矿物组成一致<sup>[14,21,23,24]</sup>。如果就这种标准而论,白浆土的粘粒有明显的淋溶,但化学和矿物组成的差异却不大,看来这些性质与淋洗土颇为相近。

## 五、白浆土的化学性质

白浆土的化学分析资料列于表7。从这个表中可以见到白浆土荒地表层( $A_1$ )的腐殖质很高,约为8—9%。但从Aw层起便急剧下降到0.5%左右。根据我所土壤理化组邱凤琼、张丽珊同志的分析资料,表层腐殖质的组成以胡敏酸为主,胡敏酸与富啡酸的比例为2.6。胡敏酸的消光系数介于东北地区的黑土和暗棕色森林土之间,并更接近于黑土<sup>[25]</sup>(图7)。

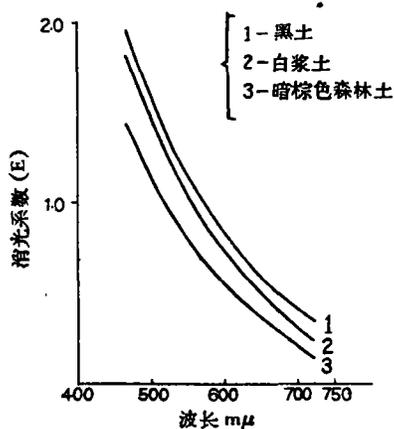


图7 白浆土胡敏酸、光密度曲线

白浆土水浸液pH值一般为5—6,盐浸液则为4—5。pH在剖面上的差异不大。土壤自然溶液的pH都比较高,大部为7.0左右。在植物生长季节中,由于气候及生物活动的影响,土壤溶液中 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 有明显的季节变化,因而土壤溶液中的pH也因季节而不同(图8)。春季pH一般比较低,

由6.5到7.5左右;夏季则大部上升到7.5以上,个别表土层还高到8.1—8.2;秋季pH又下降到6.5—7.0左右。由此看来,白浆土在其成土过程最为活跃的季节中,土壤自然溶液的反应实际上为7.0左右。

白浆土代换性阳离子中以 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 为主,但 $\text{Ca}^{++}$ 多于 $\text{Mg}^{++}$ ,表层较为显著(表7),说明表层生物累积过程还有相当发展。土壤自然溶液中的 $\text{Ca}^{++}$ 和 $\text{Mg}^{++}$ 也是表层为最高。从季节变化看,一般是春季低,夏季高,秋季又较低。但在夏季植物生长最为繁茂的时期中,或由于土壤水分不足,微生物活动受到抑制;或由于植物强烈吸收的结果,土壤溶液中 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 含量又比较低(图8)。在代换性阳离子中还有少量 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ ,前

表 7 白 蒙 土 一 般 化 學 性 質

剖面号	采集地点	层次	采样深度 (厘米)	腐植质 (%)	水解酸 当量/ 100克	pH		代换性阳离子(毫克当量/100克土)										全氮 (%)	全磷 (%)	全钾 (%)
						水浸	盐浸	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	代换盐基	代换总量	盐基饱和度 (%)				
57-黑-114*	黑龙江 省黑河 专区, 嘉荫县, 稻田乡, 高升屯 西南5 公里	A <sub>1</sub>	0—10	9.12	5.15	6.01	5.48	18.70	4.70	0.32	0.32	0.07	0.05	24.04	29.19	82.36	0.38	0.19	2.02	
		Aw	15—25	0.97	3.61	5.97	4.67	7.43	3.91	0.27	0.21	0.05	0.35	11.82	15.43	76.60	0.07	0.05		
		Aw'	35—45	0.55	4.46	5.74	4.24	7.55	4.35	0.44	0.26	0.07	0.75	12.60	17.06	73.86	0.05	0.03	1.54	
		B <sub>1</sub>	70—90	0.70	4.22	5.96	4.29	17.69	8.97	0.73	0.27	0.14	0.44	27.66	31.88	86.76				
		B <sub>2</sub>	120—130	0.55	3.03	5.89	4.51	15.12	7.27	0.68	0.21	0.09	0.05	23.28	26.31	88.48				
		BC	140—150	0.48	2.84	5.87	4.63	15.29	7.39	0.72	0.21	0.10	0.02	23.61	26.45	89.26			1.68	
AC-1	黑龙江 省虎林 县德河 镇西1.5 公里处 宝公路 北侧120 米	A <sub>1</sub>	0—7	8.98	7.52	5.28	4.91	18.81	2.48	0.11	0.13	0.19	0.55	21.53	29.05	74.11	0.41	0.24		
		Aw	10—20	0.92	7.06	6.00	4.88	7.67	3.36	0.04	0.09	0.12	1.51	11.16	18.22	61.25	0.13	0.08		
		AwB	30—40	0.72	9.52	6.05	4.89	7.09	4.05	0.09	0.11	0.12	3.14	11.34	20.86	54.36	0.12	0.07		
		B	60—70	0.68	14.02	5.85	4.67	13.85	9.46	0.19	0.21	0.19	5.01	23.71	37.73	62.84	0.14	0.09		
		BC	100—120	0.46	7.82	5.38	4.02	15.62	7.29	0.19	0.10	0.12	1.80	23.20	31.02	74.79	0.09	0.09		
		C	150—160	0.47	5.33	5.12	4.96	16.45	7.72	0.26	0.15	0.12	0.52	24.58	29.91	82.18	0.10	0.08		
AC-52	黑龙江 省桦南 县大岗 营	A <sub>1</sub>	2—11	8.95	21.35	4.27	3.57	4.63	3.09	0.13	0.06	0.24	3.93	7.91	29.26	27.03	0.29	0.21		
		A <sub>1</sub> Aw	11—19	3.86	13.74	4.67	3.53	5.06	2.66	0.10	0.04	0.17	3.49	7.86	21.60	36.39	0.22	0.14		
		Aw	19—28	0.92	7.47	5.15	3.63	4.39	3.71	0.09	0.05	0.12	2.30	8.24	15.71	52.45	0.04	0.04		
		AwB	30—40	0.56	9.11	5.19	3.49	4.86	3.08	0.09	0.06	0.12	3.58	8.09	17.20	47.03	0.02	0.06		
		B <sub>1</sub>	55—65	0.58	13.24	5.37	3.35	11.23	7.60	0.19	0.15	0.32	5.21	19.17	32.41	59.15	0.07	0.07		
		B <sub>2</sub>	90—100	0.67	9.90	5.31	3.65	15.14	11.40	0.29	0.18	0.36	2.82	27.01	36.91	73.18	0.07	0.08		
BC	120—130	0.53	5.72	5.23	3.67	16.05	16.72	0.24	0.15	0.12	0.87	33.16	38.88	85.29	0.06	0.08				
	160—170	0.34	4.00	5.47	4.00	17.22	12.29	0.24	0.21	0.09	0.05	29.96	33.96	88.22	0.06	0.13				

\* 艳碧娟分析。

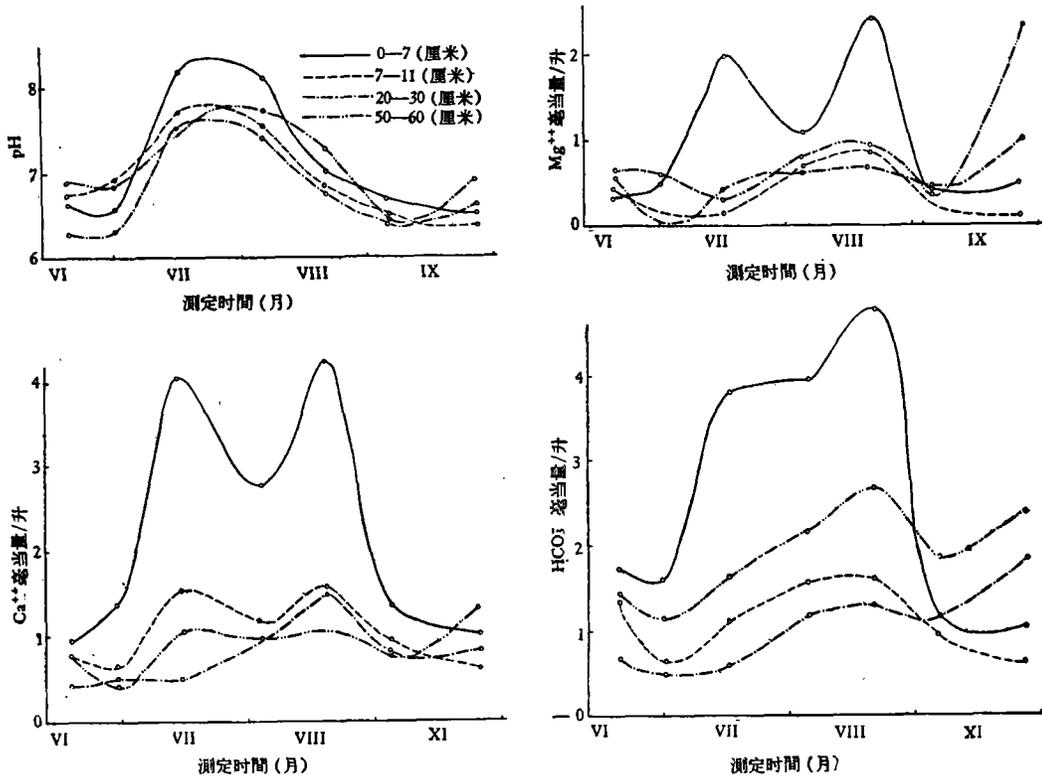


图8 白浆土土壤溶液中  $\text{pH}$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 、 $\text{HCO}_3^-$  季节性动态变化 (AC-3)

者每 100 克土中为 0.1 到 0.7 毫当量；后者则为 0.1 到 0.3 毫当量。在白浆土中出现代换性  $\text{Na}^+$ ，Ю. А. Ливеровский 认为是脱碱过程的重要依据之一<sup>[3]</sup>，我们认为在这种质地粘重、透水不良并有短期表层滞水的土壤中，含有少量代换性钠是很自然的现象，不足为奇。近年根据苏联远东地区的研究资料，在 2—3 米土层中并没有发现大量代换性  $\text{Na}^+$  和可溶性盐类，脱碱过程存在的可能性也不大<sup>[5]</sup>。代换性阳离子中， $\text{H}^+$  和  $\text{Al}^{+++}$  却很少，但  $\text{Al}^{+++}$  多于  $\text{H}^+$ 。水解酸比较大，每 100 克土中由 3 到 14 毫克当量，个别土层还可高到 21 毫克当量。盐基饱和度  $\text{A}_1$  层大部为 70—80%（个别剖面表层较低）； $\text{A}_w$  层较低，由 50% 到 70% 左右；B 层以下都比较高，由 60% 到 90%。白浆土中由于  $\text{A}_1$  层富含腐殖质，B 层以下粘粒又较多，代换性钙、镁在剖面上的分布大都是以  $\text{A}_1$  和 B 或 BC 较高， $\text{A}_w$  层较低。代换盐基、代换量和饱和度也有同样趋势。

## 六、白浆土的形成过程

从前面各节所列举的实际资料看来，白浆土是分布在温带季风红松阔叶林区地势平坦和母质粘重的地方。夏季温暖湿润，冬季寒冷干燥，土壤冻结深而融化慢。地下水较深，并有粘土层分隔，对成土过程影响不大。但由于母质粘重、地势平坦以及季节性冻层存在时期较长，土壤及地形排水不良，夏秋雨量又高度集中，因而土层上部多形成临时性的滞水，地势低平的地方并有短期地表积水。这些周期性出现的土壤滞水和地表积水对白浆土的形成和发展发生重大作用。由于表层土壤水分较多，白浆土的植物以喜湿性的

植物种类为多,主要是草甸和草甸—沼澤类型的草本植物,表层有机物的累积很高。在白漿土成土因素中,从气候、地形、母質、水文一直到植被都是相輔相成,具有不可分割的特点。

白漿土的机械組成都很粘重,并具有明显的“二层性”。表层( $A_1$ )比較輕松,容重小,孔隙多,透水速度快;下层粘紧,容重大,孔隙少,不透水(B及BC)或透水极慢( $A_w$ ),在春季融雪化冻或夏秋降水較为頻繁的时期中,由于底层不透水,白漿土表层的水分經常处于飽和状态,有时还形成滯水或以側渗的方式沿着平緩的斜坡流向低处。但由于白漿土表层的厚度并不大,容水量很小,在降水較少或蒸发和蒸騰比較強烈的时候,表层特别是亚表层( $A_w$ )的水分又迅速減少,或处于干燥状态。因此,白漿土的水分均集中于表层( $A_1$ 及 $A_w$ ),变动的次数多,幅度大,并經常处于干湿交替状态。水分类型为表层滯水側渗类型。

上述水分物理性質和水分状况对白漿土的形成和发展具有多方面的影响。首先,由于表层水分丰富有时并有短期滯水,促进了草甸和草甸沼澤植物的順利发展。又因底层土壤粘紧,不透水,植物根系向下发展困难,80%以上根系都集中到 $A_1$ 层,因而白漿土中地上和地下部分有机物也均貯集于表层,这里腐殖質累积过程和元素的生物聚集过程都特別显著,腐殖質含量高(荒地10%左右),并以胡敏酸为主,其光密度介于黑土与暗棕色森林土之間,并与黑土相近。土层中代換性Ca、Mg以及其他大量(N、P、K)和微量(Mn、Zn、Mo)植物营养元素都很集中,草甸过程有了显著的发展。

其次,由于水分集中于表层,并經常处于干湿交替状态,有时还因水分过多,在B层上部形成临时滯水,促进了瀘育过程的发展。在这种瀘育过程中,在表层大量有机質的影响下,土壤自然溶液中的FeO及 $Fe_2O_3$ 均以表层最为活跃,并形成了大量的锈斑、灰斑和鉄錳結核。換句話說,在白漿土表层水分飽和或临时积水而处于还原状态时,土壤矿物部分的高价鉄錳变为低价并从土体中游离出来,随水运动。当表层水分由于蒸发及蒸騰作用減少而处于氧化状态时,它們又从低价变为高价,并就地以鉄錳結核的形式固定下来;也有少量活性鉄錳不能形成結核,或随着側渗水流流出土层以外,或随着沿裂隙下渗的水流淀积在B层上部的結構面上。由于上述过程的长期变化的結果,就使得白漿土的亚表层中原来均匀分布的鉄錳等有色矿物发生了重新分配,它們大部分集中于鉄錳結核之中,一部分流出土层以外,因而使这个土层脱色,成为一个白色或淡黃色的土层,这就是白漿层形成的主要过程。

第三,由于白漿土表层水分集中并有滯水和側流影响,因而表层粘粒一部分随側流淋失;另一部分則淀积到B层上部。机械分析中B层上部粘粒含量均較高(表2),薄片觀測結果表明:在B或BC层中結構面上也見有光学定向粘土的聚集,这都說明白漿土的淋溶过程也有相当发展。但这种淋溶过程基本上是属于机械淋溶性質,土壤胶体并未受到显著的破坏,因为粘粒的化学組成和矿物組成在剖面上都比較均匀一致,没有明显的分异(表6,图6)。

由此,白漿土的形成过程可具有三个特点:(1)草甸过程;(2)瀘育过程;(3)淋溶过程。由于这些过程均在表层进行,也可以总称为表层草甸瀘育淋溶过程,或簡称为白漿化过程。在这三个过程中以瀘育为主,在瀘育的基础上再发展草甸和淋溶过程,它們与一般

独立的草甸过程、潜育过程或淋溶过程都不相同,有自己独具的特点。

根据我們现在所了解到的文献资料看来,白浆土中的某些过程或特征,与当前法国的淋洗土 (lessivage)<sup>[23]</sup>、德国假潜育土 (pseudogley)<sup>[16]</sup>、苏联的假灰化土 (псевдоподзол)<sup>[14]</sup> 以及美国粘磐土 (claypan soil) 中某些土系<sup>[26]</sup> 頗有相似之处,但与灰化土和脱碱土却不很相同。因此,在考虑到白浆土的利用改良时可适当的参考在形成过程和性质比較接近的那些土壤的生产經驗和試驗成果。

談到白浆土与灰化土的关系和区别,必須首先确定灰化土的定义。目前土壤学中对于灰化过程的理解并不完全一致,但概括起来,不外两种:第一种以 К. Д. Глинка 为主,认为灰化土是在大量下降水流的影响下,土壤粘粒只发生机械淋溶,而没有受到破坏;因而断定灰化土不仅仅发生在林下,凡有下降水流影响的地方(如草甸及沼泽地区)都有灰化土<sup>[27]</sup>。第二种认为在灰化土形成过程中土壤粘粒不仅有机械淋溶,同时也发生分解与破坏<sup>[23,28]</sup>;这种看法比較新,支持的人也較多。我們如果以第一种观点作为灰化过程的标准,白浆土与灰化土的区别不大,可算是一个土类;如果就第二种观点讲,它們在形态上虽很相似,但性质則有很大的不同:

1. 灰化土一般分布于寒温带泰加林下,白浆土則大部見于温带季风区紅松針闊叶混交林的外緣,主要受草甸和草甸沼泽植物的影响。典型的灰化土多見于砂性母質,并多分布于棕色森林土的上部或北部,但白浆土只見于粘重的母質上,并在棕色森林土的下部或南部。

2. 灰化土的水分为淋溶类型 (промывной),白浆土則为表层潜水側渗类型。

3. 灰化土腐殖质組成一般以富啡酸为主,胡敏酸与富啡酸之比小于 1;白浆土腐殖质組成則以胡敏酸为主,胡敏酸与富啡酸之比大于 1,胡敏酸的光密度介于暗棕色森林土与黑土之間,并接近于黑土。

4. 灰化土中各土层間的化学和矿物組成不同;白浆土則比較一致,土层間的分异不大。

5. 灰化土中的鉄錳等有色矿物由于下降水流垂直淋溶的影响,均集中于 B 层以下;白浆土相反,均在 B 层以上,并以亚表层为最多。

6. 灰化土的 pH 值一般比較低,土层間的差异也較大;白浆土比較高,夏季土壤自然溶液中的 pH 值并在 7.0 左右,土层之間的变化不大。

白浆土与脱碱土在形态上也有相似之处,但实际上也不很相同。白浆土中除代換性鈉、可溶盐以及无定形硅酸的含量和分布与脱碱土不同已在前面有关各节說明以外,它們在地理分布上还有很大的差异,因为碱土和脱碱土总是呈零星小块的,多与其他土壤形成复区,而白浆土則呈大片分布。必須指出,在白浆土分布地区据說有小块“天然碱場”;在荒地勘测中,有人在大片沼泽地中发现小块含有碳酸盐的土壤。这些土壤的成因怎样?它和脱碱土的关系又如何?还值得进一步研究。

白浆土目前属于潜育性的水成土壤,与那些經常积水、常年以还原过程为主的潜育过程不同。但从白浆土的形成和发展历史上看,正象在前面地質地形对于白浆土形成的影响中所談到的那样,白浆土的前身可能为潜育土。在潜育土阶段,由于表层积水影响,在生草层下面形成了一个青灰色的潜育层,以后由于新构造运动及河流下切的影响,地形部位逐步升高,水分状况由經常积水变成短期积水,土壤氧化还原条件則从还原过程轉变为

氧化还原交替进行,使得原来灰色的潛育层轉变为白色的潛育层,形成白漿土。因此我們目前在三江平原或穆稜兴凱平原中都可以見到,在地形較低、經常积水的地方多为潛育土,但在地形較高短期积水的地方則为白漿土。

## 七、白漿土的分類

由于大家对白漿土形成过程的認識不同,所以它在分类系統中的位置还未十分肯定。

1958 年宋达泉等曾把白漿土作为一个独立的土类看待,下分棕壤性草甸白漿土、草甸白漿土和潛育白漿土三个亚类。1960 年亚类名称又改为白漿土、草甸白漿土和潛育白漿土<sup>[29,30]</sup>。1959 年在黑龙江省土壤普查工作中,各地羣众把白漿土中  $A_1$  层比較厚的称为“黑土”;  $A_1$  层薄,  $A_w$  层距离地表較近或露出地面的称为白漿土;  $A_1$  层較好,  $A_w$  层为草黃色的則称为黑黃土。但也有一些老农把白漿土看成一个土类,下分崗地白漿土、平地白漿土和低地白漿土<sup>[31]</sup>。

1958 年 Ю. А. Ливеровский 等在苏联沿海边区的地区土壤分类表中把白漿土分属于若干不同的土类中,除脫碱土与灰化土以外,还分出了一个独立的新土类——草甸潛育土<sup>[32]</sup>。1961 年 Э. А. Корнблум 等在論黑龙江流域白层土壤的发生时,又分为草甸白飴土和森林白飴土<sup>[5]</sup>。1962 年 Ю. А. Ливеровский 等鉴于白漿土分布地区广大,并包括各种不同的植被,不能作为一个土类,除森林白飴土和草甸白飴土以外,还分出了草甸脫碱土 (Луговая осолодевая)<sup>[6]</sup>。

白漿土分布地区的确很广,也有各种不同植被条件的影响,但就其成土条件、形成过程和主要理化性質,正如前面各节所講到的,它們又確有其独具的共同特征,如粘重的母質,平坦而微有起伏的地形,高度集中的季风雨,以及因此而形成的表层潛育-側渗水分条件,使得这种土壤发生表层潛育淋溶过程等等。И. П. Герасимов 在討論中欧潛育假灰化土与二层性沉积物的形成問題时,曾講到潛育假灰化土分布的面积也很广,植被的种类也很多,但这种土壤的过湿和潛育化則較为一致,与植被的关系不大<sup>[4]</sup>。因此,我們不能因为植被不同把白漿土分为几个不同的土类,而仍应把它作为一个独立的土类看待,土类以下暫分白漿土、草甸白漿土和潛育白漿土三个亚类。

白漿土相当于森林白飴土或崗地白漿土,一般分布于高阶地或低阶地中坡度較大的地方,植被以森林为主,但目前多已殘破,草甸草本植物也有相当的发展。地下水很深,地表不积水。 $A_1$  层比較薄,大部小于 10 厘米。在白漿土土类中,它的发展阶段較老,淋溶較強,白漿层特別明显, pH 值和饱和度大都比較低。目前除局部有耕地外,大部为林地。开垦后应注意提高土壤肥力和防止水土流失。

草甸白漿土相当于草甸白飴土或平地白漿土,大多分布于低阶地或高阶地下部比較平緩的地方,以草甸草本植物为主,但有些地方也有稀疏的树木生长。地下水深,地表也无积水。 $A_1$  层比較厚,一般为 15 厘米左右,个别地方可达到 20 或 30 厘米。白漿层发育不及前一种好,但厚度較大,大部为 20—40 厘米。目前大部为耕地,应注意防止水土流失,保持与提高土壤肥力。

潛育白漿土相当于草甸脫碱土或低地白漿土,分布于低平地区,地表有短期积水。植被以草甸沼泽植物为主,并有沼泽性的灌丛生长。 $A_1$  层約为 15 厘米左右,草根密集,有

些地方并呈泥炭化,白浆层不明显,湿时为浅灰色,干后为白色。潛育現象明显,全剖面均有較多的灰斑和锈斑。在白浆土中潛育白浆土的发育年龄最小,淋溶程度不强,因而pH和饱和度均比較高。由于有时有短期积水影响,荒地較多。但近年也有不少开垦为耕地,应注意排水及提高土壤肥力措施。

### 参 考 文 献

- [1] 根据 Г. И. Иванов 在“Почвы Приханкайской равнины и долины р. уссури, их освоение и использование”一文中的記述。打字稿, 1959。
- [2] Baltz, V. A., and Polynoff, B. B.: On the soils of Manchuria. Soils of the Harbin region, appendix II. (R. L. Pendleton and others) Soil Bul. no 11, Nat. Geol. Surv. China, 1935.
- [3] Ливеровский, Ю. А.: Почвы амурской лесостепи. Почвоведение, 1947, № 7.
- [4] 曾昭順: 关于白浆土的形成問題。土壤集刊第一号, 1958。
- [5] Коряблом, Э. А. и Зимовец, Б. А.: О происхождении почв с белесым горизонтом на равнинах Приамурья. Почвоведение, 1961, № 6.
- [6] Ливеровский, Ю. А. и Росликова, В. И.: О генезисе некоторых луговых почв Приморья. Почвоведение, 1962, № 8.
- [7] 徐 琪: 1962. 长江中下游白土的地理分布規律及其形成过程的特点。土壤学报, 10 卷 1 期。
- [8] 郭鴻俊、謝宇平: 1958. 关于东北的地貌分区。中国第四紀地質研究, 1 卷 2 期。
- [9] 孙肇春: 1959. 东北地区新构造运动及其在自然地理中的作用。地理学报, 25 卷 6 期。
- [10] 朱連青、宋达泉、馬溶之、侯光炯: 水稻土土层分类命名概則。土壤特刊乙种四号, 1938。
- [11] 南寅麟、黄云暉: 黑龙江省饒河地区地植物定位研究。手稿, 1962。
- [12] Розанов, Б. Г.: О природе контактного осветленного горизонта почв на двучленных породах. Почвоведение, 1957, № 6.
- [13] 于天仁等: 1959. 太湖流域低产白土的成因及其改良。土壤学报, 7 卷 1—2 期。
- [14] Герасимов, И. П.: Глеевые псевдоподзолы центральной Европы и образование двучленных покровных наносов. Известия АН СССР, серия географическая, 1959, № 3.
- [15] Росликова, В. И.: Марганцево-железистые конкреции в почвах Суйфуно-Ханкайской низменности. Почвоведение, 1961, № 4.
- [16] Kubiena, W. L.: The Soils of Europe. 1953. (London)
- [17] Ковда, В. А., Зимовец, Б. А. и Амчиславская, А. Г.: О гидрогенной аккумуляции соединений кремнезема и полуторых окислов в почвах Приамурья. Почвоведение, 1958, № 5.
- [18] Гедроль, К. К.: Избранные сочинения ТОМ I, II. сельхозгиз, 1955.
- [19] Базилевич, И. И., Калашникова, Р. А. и Ярилова, Е. А.: О накоплении аморфной кремнекислоты в почвах. Тр. Поч. ин-та. им. В. В. Докучаева, ТОМ XLIV, 1954.
- [20] 黎积祥: 1960. 暗色草甸白浆土的发生学特征。土壤学报, 8 卷 1 期。
- [21] Фридланд, В. М.: Об оподзоливании и иллиммеризации (обезыливания). Почвоведение, 1958, № 1.
- [22] 宋达泉等: 黑龙江流域的土壤特性与东北农业发展远景。黑龙江流域綜合考察学术报告第二集, 1959。
- [23] Парфенова, Е. И. и Ярилова, Е. А.: К вопросу о лессиваже и оподзоливании. Почвоведение, 1960, № 9.
- [24] Горбунов Н. И.: О передвижении коллоидных и илестых частиц (к вопросу о лессиваже и оподзоливании). Почвоведение, 1961, № 1.
- [25] 邱凤球、張雨珊: 东北主要土类腐殖质組成特征的初步研究。手稿, 1959。
- [26] Nikiforoff, C. C. and Drosdoff, M.: 1943. Genesis of claypan soil I, II. Soil sci., Vol. 55, 56.
- [27] Ярков, С. П.: О теории подзолообразовательного процесса в свете учения акад. В. Р. Вильямса. Почвоведение, 1940, № 4.
- [28] Роде, А. А.: Подзолообразовательные процессы. Изд. АН СССР, 1937.
- [29] 宋达泉、程伯容、曾昭順: 东北及内蒙东部土壤区划。土壤通报, 1958 年第 4 期。
- [30] ——: 黑龙江流域及其毗邻地区自然条件研究。黑龙江流域綜合考察学术总结报告, 第二卷, 1961。
- [31] 曾昭順: 我們是怎样进行耕地土壤分类的。土壤普查鉴定与土壤分类制图問題, 农业部全国土壤普查办公室編, 1959。
- [32] Ливеровский, Ю. А. и Рубцова, Л. П.: Схема классификации почв равнинных территорий Дальнего Востока, Почвоведение, 1959, № 4.

## ON THE GENESIS AND CLASSIFICATION OF PAICHIANG SOILS

C. S. TSENG, C. P. CHUANG AND M. P. LI

*(Institute of Forest and Pedology, Academia Sinica)*

A special soil group, characterized by a white subsurface and a clayly subsoil, is widely distributed in the east part of the Heilungkiang and Chilin provinces of North-east China. This soil group has been described previously by some authors as podzolic and soddy-podzolic soils or solodi. A more systematic investigation of the soils by the present authors, both in field and laboratory, comes to the conclusions that the genesis of this soil group is of a hydromorphous bleached process developed periodically under the influence of temporary stagnation of soil water at the surface horizon. The Paichiang soils, according to the denomination of natives, should be regarded as a special group of hydromorphic soils and are tentatively subdivided into three subgroups—the Paichiang soil, the meadow-Paichiang soil and the glei-Paichiang soil.

Referring to the pedological literatures, Paichiang soils are resembling to those soils already described as “Lessivage” (France), “Pseudo-gley” (Germany), “Псевдоподзол” (U.S.S.R.) and certain claypan soils (U.S.A.), but are rather different from podzolic soil or solodi.