

辽宁省白浆化土壤中白土层的特征及其形成^①

王秋兵, 王燕平, 孙仲秀, 孙忠戈

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866)

摘要: 本文以辽宁省浑河在不同历史时期形成的阶地上的黄土状物质发育的土壤为研究对象, 通过对剖面形态学特征、基本理化性质和母质均一性判定等研究, 探讨了浑河三级阶地白浆化土壤的白土层特征及其形成机制。结果显示: 土壤粉粒中的稳定元素钛与锆分析结果表明在三级阶地上的 21-003、21-009、07 和 21-076 剖面 and 二级阶地上的 21-001、21-200、03 和 04 剖面的母质均一; 由于土体发育程度不同, 一级阶地土体中无淀积层; 二级阶地土体中有淀积层且无白土层, 尚未出现白浆化现象; 三级阶地土体中淀积层和白浆化现象明显, 出现了白土层, 其形成以黏粒的机械淋溶和潜育淋溶为主; 三级阶地上土壤比二级阶地和一级阶地发育时间长, 但尚未达到漂白层的标准。

关键词: 白土层; 白浆化土壤; 黄土状物质; 阶地; 浑河流域

中图分类号: S151+3 **文献标识码:** A

辽宁省东部的浑河阶地上保存着深厚的黄土状物质发育的土壤, 不同阶地上发育的土壤剖面间特征存在明显的差异, 三级阶地上的土壤剖面不仅发育有淀积层, 而且还在淀积层之上形成了白土层, 二级阶地只有淀积层并没有形成白土层, 一级阶地无淀积层。白土层的形成, 或是因生物气候, 或是因发育时间^[1-5], 不同学者持不同看法。目前, 关于白浆化土壤和白浆土的研究主要集中在北亚热带和东北的三江平原, 且主要是研究其基本性质、发生特性及铁氧化物和黏土矿物等^[6-8], 而有关辽宁省浑河上游在不同历史时期形成的阶地上的白浆化土壤形成机制及白土层特征研究还鲜有报导。

本研究在判定浑河三级阶地和二级阶地上土壤剖面成土母质均一的基础上, 通过对白浆化土壤的白土层与其他土壤发生层的剖面形态学特征^[9]、基本理化性质^[10]、地球化学及黏土矿物特征^[11]的综合对比分析, 并与一级阶地和二级阶地比较, 探讨三级阶地白土层的形成, 试图为探索温带地区白浆化土壤白土层形成原因及机制提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于浑河流域中上游地区, 包括沈阳市的浑南区、沈北新区和抚顺市, 地理位置 123°23'17.00"~

125°31'04.85"E, 41°50'02.00"~ 42°13'47.70"N。该区气候属于北温带湿润大陆性季风气候, 四季分明, 雨热同期, 年均气温 5.0 ~ 8.1 °C, ≥10 °C 活动积温 3 054 ~ 3 500 °C, 年平均无霜期 147 ~ 164 d, 年平均降水量为 658 ~ 950 mm。研究区新构造运动以间歇性区域上升为主, 区域内整体地貌由西南向东北抬升。后期受区域侵蚀夷平作用和河流侵蚀作用影响, 地貌以山地为主, 浑河河谷为骨架, 不同类型阶地组合分布。在中更新世, 地壳抬升形成三级阶地; 到晚更新世, 整体抬升, 形成超河漫滩基座阶地即二级阶地; 至全新世, 地壳相对稳定, 河流冲积塑造新的地貌层次, 形成一级阶地^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 供试土样分别采自沈阳市的浑南区、沈北新区和抚顺市清原县。本研究区域主要水系为浑河。据资料记载^[13-14], 浑河两岸出现明显阶地, 一级阶地有清原部分地区, 二级阶地有沈阳市浑南区、沈北新区、清原部分地区晚更新世超河漫滩基座阶地, 三级阶地有清原部分地区的中更新世阶地, 各阶地面平稳, 面积较大。研究区域和采样点位置见图 1, 土壤剖面概况见表 1。剖面 21-013 位于一级阶地上, 剖面 21-001、21-200、03 和 04 位于二级阶地上, 剖面 21-003、21-009、07 和 21-076 位于三级阶地上。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371223)资助。

作者简介: 王秋兵(1962—), 男, 河北邢台人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤地理学、土地资源管理等方面的教学和科研工作。E-mail: qiubingwangsy@163.com

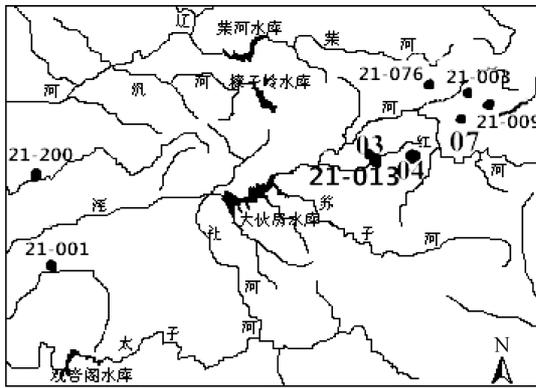


图 1 研究区及采样点分布示意图
Fig. 1 The study area and sampling sites

1.2.2 测定项目与方法 按发生层采样,剖面描述依据中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组主编的《野外土壤描述与采样规范》^[15]。所采集

的土壤样品均经过自然风干、去除粗有机质、研磨、过筛处理,用于分析测定不同项目。pH 的测定分别采用 1:2.5(H₂O)和 1:2.5(KCl)电位法;交换性 H⁺和 Al³⁺测定采用 1 mol/L KCl 提取,中和滴定法测定;水解性酸采用醋酸钠浸提,中和滴定法测定;有机碳采用元素分析仪(Elementar verio, 德国)测定;机械组成采用吸管法测定;游离铁采用柠檬酸钠-连二亚硫酸钠浸提,邻菲罗啉比色法测定;活性铁采用草酸-草酸铵浸提,邻菲罗啉比色法测定;络合铁采用焦磷酸钠浸提,邻菲罗啉比色法测定;粉粒中钛和锆采用三酸溶解,电感耦合等离子发射光谱仪法(ICP-OES)测定;土壤矿质元素和黏粒矿质元素采用 X 射线荧光光谱仪法测定;黏土矿物组成采用 X 射线衍射(XRD)法^[16]测定。

1.2.3 数据处理 采用 Excel 2010 分析作图。

表 1 供试土壤景观特征
Table 1 Landscape features of studied soils

剖面号	采样地点	地理坐标	地形	海拔(m)	母质	土地利用现状
21-013	清原县北口前村	124°36'08.90"E, 41°59'52.60"N	一级阶地	186	河流冲积物	耕地
21-001	浑南区天柱山	123°34'00.00"E, 41°50'02.00"N	二级阶地	72	黄土状物质	旱耕玉米地
21-200	沈北新区道义	123°23'17.00"E, 41°58'11.30"N	二级阶地	61	黄土状物质	耕地
03	清原县北口前村	124°35'45.80"E, 41°59'54.90"N	二级阶地	208	黄土状物质	开垦种玉米
04	清原县马前寨村	124°52'12.60"E, 42°03'49.00"N	二级阶地	265	黄土状物质	耕地
21-003	清原县粘泥岭村 D 点	125°10'18.80"E, 42°13'42.30"N	三级阶地	411	黄土状物质	杂草, 松树
21-009	清原县粘泥岭村 G 点	125°09'27.30"E, 42°13'47.70"N	三级阶地	388	黄土状物质	玉米, 松林
07	清原县长兴村	125°31'04.85"E, 42°13'29.33"N	三级阶地	400	黄土状物质	开垦种玉米
21-076	清原县粘泥岭村	125°09'23.10"E, 42°13'46.90"N	三级阶地	400	黄土状物质	开垦种玉米

2 结果与分析

2.1 辽宁省浑河不同阶地上土壤剖面的形态及发育特征

三级阶地剖面土体构型为 A-E-B-C,剖面中出现颜色偏白、质地较粗的发生层,即白土层,出现的上界介于 9~36 cm,厚度介于 14~30 cm,润态明度为 6,彩度为 4,漂白物体积介于 25%~40%,但尚未达到《中国土壤系统分类检索》中的漂白层的颜色标准;淀积层中可见大量斑纹、胶膜和结核(表 2);剖面 21-003 可达砂黏土,其他主要为黏壤,白土层质地均为壤土,黏粒含量均低于淀积层(表 2 和图 2);三级阶地上土壤剖面淀积层的水解性酸、交换性 H⁺和 Al³⁺明显高于白土层,分别高 6.60、0.43 和 0.28 cmol(+)/kg;三级阶地剖面淀积层游离铁最高,表层次之,白土层最低,表层和白土层的活性铁均高于淀积层,分别高 2.27 g/kg 和 2.21 g/kg(表 3);三级阶

地各发生层土体硅铁铝率值均高于黏粒中硅铁铝率值,白土层的硅铁铝率值高于淀积层,高 0.54;低于表层,低 0.69(表 3)。

二级阶地上剖面土体构型为 A-B-C(表 2),剖面淀积层中有少量斑纹,质地主要为砂黏壤,黏粒相比上层略有增加(表 2 和图 2)。剖面内交换性 H⁺和 Al³⁺变化不明显,其层次间水解性酸变化无规律性(表 3)。

一级阶地上剖面土体构型为 A-C,无淀积层,母质为河流冲积物(表 1 和表 2)。

2.2 辽宁省浑河三级阶地上白土层的形成

2.2.1 成土母质均一性判定 三级阶地和二级阶地的母质均为黄土状物质,但淀积层黏粒含量差异明显(图 2),可能是由于它们的成土母质物质组成不同,黏粒含量原本就存在差异;也可能是由于三级阶地上土壤发育时间较长,黏粒的形成和淋溶淀积作用强度较大,使淀积层黏粒含量明显增加。为了证实是否由于发育时间长而使三级阶地上发育土壤的淀积层黏

表 2 供试剖面形态特征
Table 2 Morphological characteristics of studied profiles

剖面号	发生层次	土深度(cm)	土壤颜色(湿态)	质地	结构体类型	斑纹	胶膜	结核	边界明显度
21-013	Ap	0~18	黄棕(10YR 5/6)	砂黏壤土	粒状	无	无	无	明显
	Ab	18~43	棕(10YR 4/4)	砂质粉壤土	无结构	无	无	无	明显
	ACb	43~79	暗棕(10YR 3/4)	粉质壤黏土	中块状	无	少量	无	明显
	2A1	79~106	黑棕(5YR 3/1)	粉质黏壤土	中块-薄片状	少量	少量	无	明显
	2AC1	106~128	棕(7.5YR 4/4)	砂质粉壤土	中块	无	无	无	明显
	2AC2	128~170	暗棕(7.5YR 3/4)	砂质砂壤土	中块	少量	少量	无	-
21-001	Ap	0~18	浊黄橙(10YR 6/4)	砂壤	粒状	无	无	无	明显
	AB	18~29	浊黄橙(10YR 6/4)	壤砂土	粒状	无	少量	无	明显
	Bt1	29~54	棕(10YR 4/6)	砂黏壤	粒状-块状	少量	中量	无	渐变
	Bt2	54~67	棕(10YR 4/6)	砂黏壤	块状	少量	大量	无	渐变
	Bts	67~122	棕(7.5YR 4/4)	砂黏壤	块状	无	中量	中量	-
21-200	Ap	0~21	浊黄橙(10YR 6/4)	砂壤	小团块	无	无	无	明显
	AB	21~56	棕(10YR 4/4)	砂黏壤	小团块	无	中量	少量	渐变
	Bts1	56~94	棕(10YR 4/4)	砂黏壤	小棱块	少量	大量	中量	渐变
	Bts2	94~118	棕(10YR 4/4)	砂黏壤	小棱块	少量	大量	中量	明显
	Bts3	118~130	棕(7.5YR 4/4)	砂壤	中棱块状	无	大量	中量	-
	03	Ap	0~14	浊黄棕(10YR 5/4)	砂壤	小团粒	无	无	无
A		14~31	浊黄澄(10YR 6/4)	砂黏壤	小团块状	无	少量	无	渐变
Bts1		31~49	棕(10YR 4/4)	砂黏壤	中团块状	中量	中量	无	明显
Bts2		49~83	暗棕(10YR 3/4)	砂黏壤	中块状	少量	中量	少量	明显
Bts3		83~125	暗棕(10YR 3/4)	砂黏壤	大块状	无	大量	中量	明显
C		125~146	棕(7.5YR 4/4)	砂黏壤	大块状	无	大量	大量	-
04	Ap	0~26	棕(10YR 4/4)	砂壤	团粒	无	无	无	明显
	A	26~43	暗棕(10YR 3/4)	砂壤	小团粒	无	无	无	明显
	Bts1	43~68	黄棕(10YR 5/6)	砂黏壤	小团块	少量	大量	无	明显
	Bts2	68~98	棕(10YR 4/6)	砂黏壤	大棱块状	中量	大量	中量	明显
	Bts3	98~154	棕(7.5YR 4/4)	砂壤	大棱块状	少量	大量	中量	-
21-003	Ah	0~18	浊黄棕(10YR 5/4)	砂黏壤	小团块	无	无	无	渐变
	A	18~36	黄棕(10YR 5/6)	砂黏壤	中团块状	无	少量	无	明显
	E	36~66	浊黄棕(10YR 6/4)	壤土	中块状	无	无	无	明显
	Bts1	66~82	棕(7.5YR 4/6)	砂黏壤	中块状	少量	少量	少量	明显
	Bts2	82~103	亮棕(7.5YR 5/6)	砂黏土	中-大块状	大量	无	少量	明显
	C	103~130	棕(7.5YR 4/6)	砂黏土	棱块状	大量	无	少量	-
21-009	A	0~9	棕(10YR 4/4)	砂黏壤	小块状	无	无	无	明显
	E	9~23	浊黄棕(10YR 6/4)	壤土	小-中块状	无	无	无	明显
	Bt1	23~40	浊橙(7.5YR 7/4)	黏壤	小-中块状	少量	少量	无	渐变
	Bt2	40~62	亮棕(7.5YR 5/6)	黏壤	中块状	大量	中量	无	明显
	Bts1	62~88	棕(7.5YR 4/6)	黏壤	大块状-棱块状	大量	中量	中量	明显
	Bts2	88~132	棕(7.5YR 4/6)	黏壤	块状-棱块状	大量	大量	中量	-
07	A	0~15	棕(10YR 4/4)	砂黏壤	中粒状	无	无	无	明显
	E	15~43	浊黄棕(10YR 6/4)	壤土	团粒状	无	无	无	渐变
	Bt1	43~70	亮棕(7.5YR 5/6)	黏壤	小块状	少量	大量	无	渐变
	Bt2	70~93	棕(7.5YR 4/6)	黏壤	中-大块状	中量	大量	无	渐变
	Bts1	93~120	橙(7.5YR 6/6)	砂黏壤	大块状	大量	中量	中量	明显
	Bts2	120~140	亮棕(7.5YR 5/6)	砂黏壤	大块状	大量	大量	中量	-
21-076	Ap1	0~21	棕(10YR 4/4)	砂黏壤	小团粒状-块状	无	无	无	明显
	Ap2	21~34	亮黄棕(10YR 6/6)	砂黏壤	小-中块状	无	无	无	渐变
	E	34~58	浊黄棕(10YR 6/4)	壤土	小-中块状	无	无	无	明显
	Bts1	58~72	棕(7.5YR 4/6)	黏壤	大棱块状	中量	大量	中量	渐变
	Bts2	72~110	橙(7.5YR 6/6)	黏壤	棱块状	大量	大量	中量	-

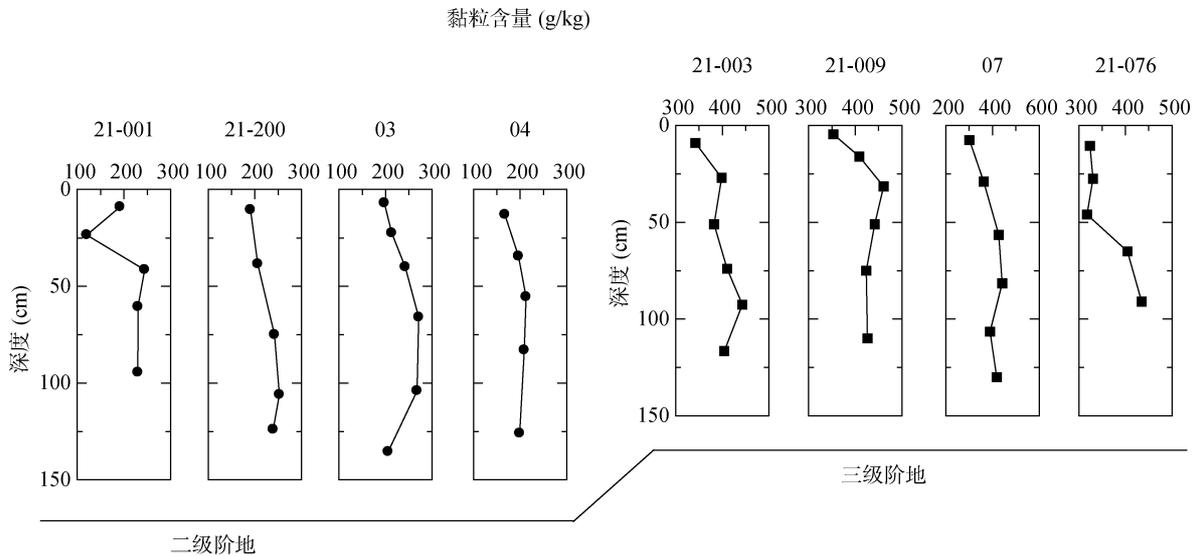


图 2 研究区土壤剖面黏粒含量
Fig. 2 Contents of clay in studied profiles

表 3 研究区土壤的基本性质
Table 3 Basic properties of studied soils

项目	二级阶地			三级阶地		
	表层	白土层	淀积层	表层	白土层	淀积层
样本数	6	—	12	6	4	12
pH(H ₂ O)	5.5	—	5.72	5.3	5.51	5.69
有机碳(g/kg)	6.41	—	3.04	10.90	3.17	2.18
水解性酸(cmol(+)/kg)	3.21	—	4.35	6.70	7.61	14.21
交换性 H ⁺ (cmol(+)/kg)	0.09	—	0.19	0.59	0.60	1.03
交换性 Al ³⁺ (cmol(+)/kg)	0.32	—	0.75	0.40	1.05	1.33
游离铁(g/kg)	9.79	—	11.16	14.29	8.84	18.68
活性铁(g/kg)	4.82	—	5.45	6.73	6.67	4.46
络合态铁(g/kg)	3.01	—	1.67	6.16	3.10	2.83
土体硅铁铝率	6.82	—	5.92	6.78	6.09	5.55
黏粒硅铁铝率	2.98	—	2.86	3.28	3.12	3.11

粒含量高,应先判定三级阶地和二级阶地上发育土壤的成土母质是否均一。

土壤学研究中,只有在保证成土母质均一的基础上,土体性质变化才能归因于土壤发育过程,常用砂粒或粉粒中稳定元素的含量或比值来判定成土母质均一性^[17-20]。本研究采用粉粒中钛、锆的含量及其比值来初步判定成土母质均一性(表 4)。辽宁省浑河三级阶地和二级阶地上发育土壤的粉粒中钛含量介于 2.69 ~ 5.61 g/kg; 锆含量介于 0.06 ~ 0.12 g/kg, 钛/锆比介于 35.64 ~ 57.67。有研究认为若粉粒中钛/锆比在剖面内的变异大于 22%,说明成土母质不均一^[21]。本研究中三级阶地和二级阶地上所有剖面的钛/锆比在层次间的变异系数均介于 5.30% ~ 14.93%,由此初步判定它们的成土母质具有均一性,三级阶地上发育

土壤黏粒含量高是由于发育时间长造成的。同时,一级阶地上剖面 21-013 发育于全新世,其母质为河流冲积物,受洪水泛滥的影响,成土时间短,土壤发育程度弱,尚未形成淀积层。这可以进一步验证三级阶地上发育土壤淀积层黏粒含量高是由于发育时间长,发育程度强形成的。

2.2.2 淀积层形成 辽宁省浑河三级阶地上所有供试土壤剖面均存在黏重的淀积层和白土层;二级阶地上土壤剖面存在淀积层,无白土层;一级阶地上土壤剖面无淀积层。淀积层的形成是由于上部土层中黏粒经淋溶淀积于下部土层。母质黏重的土壤,当表层处于水分饱和的还原环境时,被分散的黏粒由于重力水的作用向下迁移并淀积在土体中一定部位;同时土壤在干湿交替和冻融交替作用下形成的裂隙,也会促

表 4 研究区土壤剖面粉粒中钛和锆的含量及钛/锆比在剖面中的变异系数
Table 4 Contents of titanium and zirconium and variation coefficient of titanium/zirconium ratios in silts of studied profiles

剖面号	发生层	深度(cm)	钛(g/kg)	锆(g/kg)	钛/锆		
					平均值	标准差	变异系数(%)
21-001	Ap	0 ~ 18	3.37	0.08	43.54	2.31	5.30
	AB	18 ~ 29	3.92	0.09			
	Bt1	29 ~ 54	4.19	0.10			
	Bt2	54 ~ 67	4.75	0.10			
	Bts	67 ~ 122	4.26	0.10			
21-200	Ap	0 ~ 21	3.96	0.10	43.38	3.54	8.16
	AB	21 ~ 56	3.98	0.09			
	Bts1	56 ~ 94	5.04	0.12			
	Bts2	94 ~ 118	5.39	0.11			
	Bts3	118 ~ 130	4.63	0.11			
03	Ap	0 ~ 14	4.43	0.10	46.21	6.31	13.65
	A	14 ~ 31	4.40	0.10			
	Bts1	31 ~ 49	4.60	0.10			
	Bts2	49 ~ 83	4.24	0.11			
	Bts3	83 ~ 125	5.61	0.12			
04	C	125 ~ 146	5.19	0.09	44.15	6.59	14.93
	Ap	0 ~ 26	4.44	0.11			
	A	26 ~ 43	3.78	0.09			
	Bts1	43 ~ 68	4.13	0.10			
	Bts2	68 ~ 98	4.12	0.10			
21-003	Bts3	98 ~ 154	5.59	0.10	45.17	2.86	6.33
	Ah	0 ~ 18	4.25	0.10			
	A	18 ~ 36	3.91	0.09			
	E	36 ~ 66	3.96	0.09			
	Bts1	66 ~ 82	4.46	0.10			
21-009	Bts2	82 ~ 103	5.06	0.11	40.80	3.90	9.55
	C	103 ~ 130	5.05	0.10			
	A	0 ~ 9	3.76	0.10			
	E	9 ~ 23	3.54	0.08			
	Bt1	23 ~ 40	3.92	0.11			
07	Bt2	40 ~ 62	4.07	0.10	42.32	3.78	8.93
	Bts1	62 ~ 88	4.06	0.10			
	Bts2	88 ~ 132	4.14	0.09			
	A	0 ~ 15	4.07	0.09			
	E	15 ~ 43	4.03	0.10			
21-076	Bt1	43 ~ 70	3.98	0.11	42.42	2.60	6.13
	Bt2	70 ~ 93	4.28	0.10			
	Bts1	93 ~ 120	4.22	0.09			
	Bts2	120 ~ 140	4.25	0.10			
	Ap1	0 ~ 21	3.56	0.08			
21-076	Ap2	21 ~ 34	3.49	0.09	42.42	2.60	6.13
	E	34 ~ 58	3.03	0.07			
	Bts1	58 ~ 72	2.85	0.07			
	Bts2	72 ~ 110	2.69	0.06			

使土壤中黏粒随下渗水迁移，即沿非毛管孔隙下移，达到一定深度后，淀积于毛管孔隙中，这样随着干湿交替和冻融交替不断进行，下层黏粒逐渐积累，形成淀积层^[22-23]。

2.2.3 白土层形成 三级阶地和二级阶地上发育土壤中均存在淀积层，而三级阶地上发育土壤中出现白土层，二级阶地上发育土壤中无白土层。这是由于该区干湿交替、冻融交替条件下，淀积层黏重而使土层通透性差、上层滞水，营造上层土壤还原条件，高价铁被还原活化成低价铁，被活化的铁随土壤溶液向下或侧向淋溶迁移；当土壤水分淋失后，迁移到土体底层的低价铁被氧化形成高价铁淀积于淀积层中，如此长期反复干湿交替和冻融交替作用，使上层土壤脱色形成白土层^[24-28]，颜色上明显区别于下部土层。

由表 3 和图 3 可知，三级阶地上发育土壤中淀积层的游离铁含量明显高于白土层，且高于二级阶地上

发育土壤的淀积层，所以三级阶地上土壤发育程度比二级阶地高，三级阶地上发育土壤剖面中上层铁氧化物和黏粒含量大量减少，使土层脱色形成白土层；三级阶地上发育土壤硅铁铝率值均高于黏粒中铁铝率值，剖面土体白土层的硅铁铝率值均高于淀积层，铁主要富集于黏粒中，在白浆化土壤发育初期，铁随着黏粒向下迁移在淀积层聚积，当淀积层足够黏重时抑制富集铁的黏粒向下淋溶，发生侧向移动(表 3)；三级阶地上的 21-003、21-009、07 剖面 and 二级阶地上的 03 和 04 剖面的主要黏土矿物均为伊利石，伴有一定量蛭石、高岭石，但三级阶地上发育土壤风化成土作用较强，已使伊利石发生蚀变，表现为结晶程度较差^[29]，由此从矿物角度进一步证实了三级阶地上发育土壤的风化程度高于二级阶地。三级阶地上土壤中白土层和淀积层中黏土矿物基本相同，白土层的形成过程中黏土矿物蚀变速率较小(表 5)。

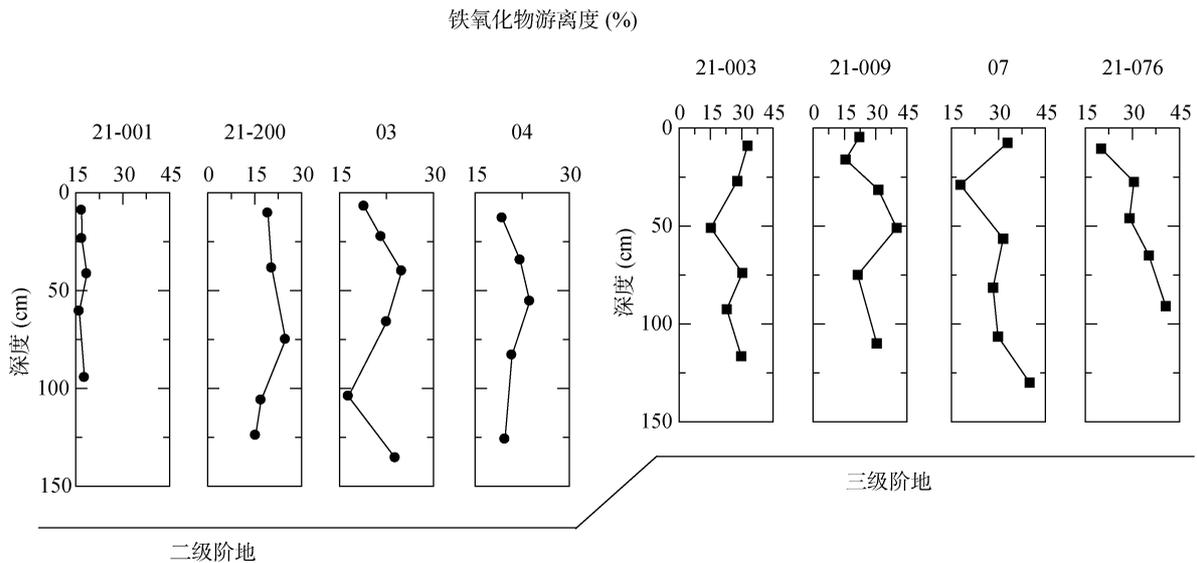


图 3 研究区土壤剖面铁氧化物游离度
 Fig. 3 The content of free iron (%) in studied profiles

Brinkman^[24-25]研究认为白浆土中的绿泥石是白浆化作用过程中由蒙皂石和蛭石等黏土矿物转变而成的。本研究中三级阶地土壤中出现白浆化现象，矿物衍射峰中出现蛭石/绿泥石间层矿物(表 5)，没有出现绿泥石峰，表明三级阶地土壤中白土层尚未达到漂白层的标准。

综上，三级阶地上发育土壤中白土层是经长时间发育而形成的。辽宁省地质局水文地质大队研究发现二级阶地上的黄土状物质沉积于晚更新世，三级阶沉积于中更新世^[12]，本研究得出结果与资料记载吻合。随着时间推移，三级阶地土壤中上层黏粒向下淋溶迁移，形成质地黏重的淀积层，营造滞水环境，上层铁

锰等有色元素被还原随土壤溶液向下淋溶，同时矿物发生微弱蚀变，导致三级阶上土壤中出现白土层；而二级阶地上土壤发育时间较短，土体中淋溶程度低，土壤剖面中有色元素铁锰的淋移和淀积量较少，土壤中黏土矿物被蚀变程度较低，尚未出现白浆化现象，仅出现少量黏粒淀积的黏粒淀积层；三级阶地上土壤中白土层也尚未达到漂白层的标准。

3 结论

1) 辽宁浑河一级阶地上发育土壤成土母质为河流冲积物，土体中未出现淀积层；二级阶地和三级阶地上成土母质均为黄土状物质，成土母质均一，但发

表 5 研究区土壤剖面黏土矿物组成
Table 5 The composition of clay minerals in studied profiles

地形	剖面	发生层	主要成分	次要成分	少量成分
二级阶地	03	A	伊利石(结晶好)	蛭石, 高岭石	蒙脱石
		Bts1	伊利石(结晶好)	蛭石, 高岭石	蒙脱石
	04	A	伊利石(结晶好)	蛭石, 高岭石	蒙脱石
		Bts1	伊利石(结晶好)	蛭石, 高岭石	蒙脱石
三级阶地	21-003	E	伊利石	蛭石, 高岭石	蒙脱石, 蛭石/绿泥石间层矿物
		Bts1	伊利石	蛭石, 高岭石	蒙脱石, 蛭石/绿泥石间层矿物
	21-009	E	伊利石	蛭石, 高岭石	蒙脱石
		Bt1	伊利石	蛭石, 高岭石	蒙脱石, 蛭石/绿泥石间层矿物
	07	E	伊利石	蛭石, 高岭石	蒙脱石, 蛭石/绿泥石间层矿物
		Bt1	伊利石	高岭石	蒙脱石, 蛭石/绿泥石间层矿物

育土壤特征差异明显。二级阶地土体中有淀积层无白土层, 尚未出现白浆化现象; 三级阶地上成土母质古老, 土壤发育时间较长, 土体中出现白浆化现象, 形成白土层。

2) 三级阶地上土壤发育以黏粒的机械淋溶作用、氧化还原作用为主, 但因发育程度仍不够高, 尚未达到漂白层的标准。

参考文献:

- [1] 傅桦, 丁瑞兴. 我国北亚热带白浆化土壤的发生特性及形成机制[J]. 土壤学进展, 1995, 23(1): 52-53
- [2] 傅桦, 丁瑞兴. 我国北亚热带白浆化土壤的成土环境[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 1995, 16(4): 82-86
- [3] 曾昭顺. 关于白浆土的形成问题. 中国科学院林业土壤研究所集刊(第一号)[M]. 北京: 科学出版社, 1958: 26-35
- [4] 曾昭顺. 论白浆土的形成和分类问题[J]. 土壤学报, 1963, 11(2): 111-129
- [5] 徐琪. 关于灰化土与白浆土研究进展[J]. 土壤学进展, 1979(1): 21-39
- [6] 傅桦, 丁瑞兴. 我国北亚热带白浆化土壤的基本性质[J]. 土壤通报, 1997, 28(3): 97-100
- [7] 傅桦, 丁瑞兴. 我国北亚热带白浆化土壤氧化铁的研究[J]. 科技通报, 1995, 11(6): 370-374
- [8] 傅桦, 丁瑞兴. 我国北亚热带白浆化土壤粘化过程的主组元分析[J]. 热带亚热带土壤科学, 1996, 5(4): 187-192
- [9] 庞奖励, 黄春长, 查小春, 等. 商丹盆地黄土母质发育土壤的微形态特征及其诊断意义[J]. 土壤学报, 2015, 52(2): 272-280
- [10] 马志强, 王秋兵, 王帅, 等. 沈阳棕壤氧化还原电位动态变化的研究[J]. 土壤, 2015, 47(5): 989-993
- [11] 张鑫慧, 张甘霖, 杨金岭. 典型热带土壤时间序列的电荷零点变化特征及其土壤发生意义[J]. 土壤, 2014, 46(2): 347-354
- [12] 辽宁省地质局水文地质大队. 辽宁第四纪[M]. 地质出版社, 1983
- [13] 袁复礼. 岭南多层地形及其相关的理论问题[J]. 第四纪研究, 1993, 11(2): 361-369
- [14] 胡童坤. 多层地形的理论在土壤调查中的应用[J]. 土壤通报, 1987(5): 203-205
- [15] 张甘霖, 李德成. 野外土壤描述与采样规范(第一版)[M]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2015
- [16] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012
- [17] Schaetzl R J. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins Theory detection and application [J]. Soil Science, 1998, 163(7): 570-590
- [18] Bartenfelder D C, Karathanasis A D. Quartzthermal activation energy as a tool in locating lithological discontinuities in Kentucky soils(USA) [J]. Geoderma, 1991, 48(1/2): 17-30
- [19] Schaetzl R J. Anderson S. Soils Genesis and Geomorphology [J]. New York: Cambridge University Press, 2005
- [20] Chapman S L, Horn M E. Parentmaterial uniformity and origin of silty soils in northwest Arkansas based on zirconium, titanium contents [J]. Soil Science Society of America Journal, 1968, 32: 265-271
- [21] Drees L R, Wilding L P. Element variability with in a sampling unit [J]. Soil Science Society of America Journal, 1973, 37: 82-87
- [22] 徐琪. 长江中下游白土的地理分布规律及其形成过程的特点[J]. 土壤学报, 1962, 10(1): 44-54
- [23] 黄瑞采. 江苏淮北地区的白浆土[J]. 土壤, 1960(3): 1-4
- [24] Brinkman R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process[J]. Geoderma, 1970, 3(3): 199-206
- [25] Brinkman R. Problem hydromorphic soil in north-east Thailand. 2. Physical and chemical aspects, mineralogy and genesis[J]. Netherlands Journal of Agricultural Science, 1977, 25: 170-181
- [26] 律兆松, 徐琪. 白土层形成过程中某些问题的探讨[J]. 土壤学进展, 1991, 19(6): 11-16
- [27] 高子勤, 宋玉芳, 关照铭. 白浆土形成过程中某些物理、化学性质的研究[J]. 土壤学报, 1988, 25(1): 13-21
- [28] 律兆松, 徐琪. 中国白浆土研究 I. 白浆土机械组成及元素地球化学分异特征[J]. 土壤学报, 1992, 30(3): 274-288
- [29] 刘莉红, 胡雪峰, 叶玮, 等. 皖南第四纪红土伊利石结晶度值与风化强度的关系[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 991-1001

Characteristics of the Pale Color Horizon in Albic Soils in Liaoning Province and Their Forming Processes

WANG Qiubing, WANG Yanping, SUN Zhongxiu, SUN Zhongge

(*College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China*)

Abstract: Albic bleached soils derived from loess-like materials on different terraces formed under different historical periods in the Hunhe River of Liaoning Province were studied. Profile morphological features, basic chemical properties and parental material uniformity were detected and used to ascertain the characteristics and formation mechanism of pale color horizons. The stable elements of titanium and zirconium in silts showed that profiles of 21-003, 21-009, 07 and 21-076 in the third terrace share the same parental material with profiles of 21-001, 21-200, 03 and 04 in the second terrace. Soils in the first terrace have no illuvial horizon; soils in the second terrace have illuvial horizons without albic bleached phenomenon or pale color horizon; soils in the third terrace have obvious illuvial horizons, albic bleached phenomena and pale color horizons. The formation of pale color horizon is mainly due to stronger eluviation and illuviation under a longer time period with significant depletions of clays in profiles when compared to soils in the first and second terraces. However, the properties of pale color horizon have not reached the standard regulation for an albic horizon.

Key words: The pale color horizon; Albic bleached soil; Loess; Terrace; Hunhe River basin