

北京地区红色黏土特性及成土过程和系统分类探讨*

王秀丽¹ 张凤荣^{1†} 王 数¹ 吴 昊¹ 杨黎芳²

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

(2 天津农学院农业分析测试中心, 天津 300384)

摘要 为研究北京地区红色黏土的成土过程及其系统分类, 选取 6 个发育在石灰岩类和花岗岩类母岩上的红色黏土剖面, 研究了土壤剖面形态、理化性质、黏土矿物组成等, 并分析了其成土条件和发生过程。结果表明: 所有土壤剖面的土壤结构体面上均有黏粒胶膜, 通体无石灰反应, 铁的游离度高, 活化度低。石灰岩类发育的红色黏土质地更细, 其土壤黏粒游离铁较多, 颜色更红, 结构体团聚程度更强。花岗岩发育的红色黏土因含有大量难以风化的石英, 因而含有较多的砂粒, 结构体团聚程度较低。这些土壤形成过程中发生了强烈的黏化和铁质化作用, 可以推断其是在古湿热气候条件下形成的。而目前土壤的 pH 呈微碱或中性, 交换性盐基离子以 Ca^{2+} 为主, 盐基饱和度较高, 则是受现代黄土降尘的影响, 发生了复盐基过程的结果。在此基础上, 依据《中国土壤系统分类检索(第三版)》确定的原则和方法, 确定研究剖面分属于淋溶土纲下的 4 个不同亚类。

关键词 北京; 红色黏土; 成土过程; 系统分类**中图分类号** S159 **文献标识码** A

我国北方的红色黏土是指湿热气候条件下形成, 颜色呈红色(一般为棕红色或红棕色), 出露于地表或埋藏于地下的土壤^[1-2]。土壤的这种红化作用为非现代气候环境下的产物, 因此被认为是古土壤^[3-5]。北京地区在第三纪时期, 气候湿润炎热, 风化成土过程强烈, 形成的土壤具有鲜明的红色。在之后的新构造运动以及土壤侵蚀作用下, 北京低山丘陵区的基岩残丘、高阶地、洪积扇和洪积台地等地尚残留着一些红色黏土, 被学者鉴定为古土壤^[4]。

土壤是自然地理景观的一面镜子, 其性状能够反映出形成时的自然条件特点, 也是分析其成土过程的重要依据。但是随着气候变迁与现代地质作用, 古地理条件下形成的土壤性质也必然发生变化。我国于 1985 年开始进行土壤系统分类研究, 经过多年的深入研究与不断完善, 形成了具有中国特色的土壤系统分类, 在确定每种土壤的系统分类位置时, 除以诊断层、诊断特性为基础的定量化特点外, 以发生学原理为指导是其重要特征之一。因此, 研究土壤发生学对正确划分土壤系统分类具有

重要参考作用。本文选取北京地区不同母质上发育的红色黏土剖面, 对比分析其土壤特性差异, 探讨其成土条件与发生过程, 试图还原土壤形成环境, 在认识理解土壤发生学理论的同时, 明确其在系统分类中的位置。

1 材料与方 法

研究区域现属于暖温带大陆季风气候区, 年均气温约 12 ℃, 7 月份温度最高, 平均温度可达 26.1 ℃, 年降水量约为 550 ~ 700 mm, 降水季节分布不均, 全年降水量的 65% ~ 70% 集中于 7、8 两月。研究剖面位于海拔 100 ~ 500 m 的低山丘陵区, 为地带性褐土区。

参考北京市 1:5 万第二次土壤普查土壤图和 1:10 万地质图、以及陈焕伟^[4]和张凤荣^[6]的博士论文, 通过野外踏勘, 借助近些年大量道路工程建设、山区开发暴露出来的断面, 选定了发育在石灰岩类和花岗岩类上两类母岩的 6 个红色黏土剖面作为分

* 国家科技基础性工作专项(2008FY110600)和国家科技基础性工作专项(2012FY112100)资助

† 通讯作者, E-mail: frzhang@cau.edu.cn

作者简介: 王秀丽(1983—), 女, 河南焦作人, 博士研究生, 研究方向为土壤地理、地理资源评价。E-mail: wangxiuli0614@163.com

收稿日期: 2013-01-15; 收到修稿日期: 2013-07-17

析对象,根据《野外土壤描述与采样手册》^①详细记录了剖面点的现实环境条件特征,进行土壤剖面描述、采集分析土样,并拍摄了剖面照片及景观照片。其中,B01、B02 和 8628 号^[6]剖面的母质属于石灰岩风化物,B03、B04 和 8616 号^[6]剖面的母质属于花岗岩风化物。

土壤颗粒组成采用吸管法测定;pH 采用电位法,同时用水浸提和氯化钙(0.01 mol L^{-1})浸提两种方法测定(水土比 2.5:1); CaCO_3 采用气量法测定;阳离子交换量采用乙酸铵(pH 7.0)交换法;交换性钾、钙、钠、镁用 1 mol L^{-1} 乙酸铵(pH 7.0)浸提,其中交换性钙、镁采用原子吸收光谱法,交换性钾、钠采用火焰光度法,分别进行了测定;盐基饱和度依据交换性盐基总量占阳离子交换量的百分比计算得出;全铁用氢氟酸-高氯酸消解-原子吸收光谱法测定,其他形态的铁均采用邻啡罗林比色法测定,其中,游离铁用连二亚硫酸钠-柠檬酸-重碳酸钠浸提,活性铁用酸性草酸铵浸提^[7];黏土矿物类型采用日本理学 D/MAX 2500(Cu 靶)X 射线衍射仪分别进行自然状态、乙二醇饱和、加热处理等步骤处理,按衍射峰高度计算各类黏土矿物的相对含量。

2 结果与讨论

2.1 土壤剖面形态特征

由表 1 可看出,研究剖面的土层厚度均大于 60 cm,B02、B04 号剖面分别位于山凹处和低山上部台地上,因而土层厚度更厚,达 130 ~ 150 cm。黏化层出现层位均较浅,基本在 0 ~ 30 cm 范围内,厚度均大于 30 cm,B02、B04 的黏化层厚度达 1 m 以上。表层有黄土覆盖的,其表下层的颜色为 5 YR(干态,下同),心、底土的颜色则更红,为 2.5 YR 或 10 R。显然,红色是赤铁矿以及矿物中的游离氧化铁蒙覆于黏粒表面的结果,而石灰岩类上发育的黏化层颜色较花岗岩上发育的更红些,是因为石灰岩发育的黏粒更高,黏粒吸附的游离铁更多。质地上,石灰岩类淋溶脱钙留下的风化残留物基本上是黏土,因而质地很黏重;而花岗岩类矿物风化后仍然残留大量难风化的石英颗粒,土壤中的砂粒较多。母质的矿物组成差异也影响到土壤孔隙状况,石灰岩发育红色黏土的导水孔隙较少,而花岗岩发育的红色黏土通透性较好。结构上,石灰岩类发育的红色黏土多为大粗棱块状,花岗岩类发育的团聚性稍差,有

些呈屑粒状结构。所有剖面的结构体面上均有黏粒胶膜,只是数量上有差异。土壤样品滴 10% 稀盐酸,除灰岩基岩研碎后的粉末有石灰反应外,所有土层均已无石灰反应。而北京地区现代褐土颜色多为 7.5 YR ~ 10 YR,黏粒少,黏化程度轻,在碳酸盐母质上发育的土壤会有碳酸盐淋溶淀积形成的假菌丝体、结核等新生体,因而会有石灰反应。由此可见,研究剖面不是现代褐土形成条件下产生的。

2.2 土壤剖面理化性质

氧化铁是风化与成土作用下的产物,其形态与含量是土壤发生学研究的重要指标之一。一般土壤风化度越高,游离氧化铁越多。表 2 可看出,石灰岩类上发育的红色黏土 B 层的游离铁含量为 $19.32 \sim 53.21 \text{ g kg}^{-1}$,土层厚度加权平均后为 43.13 g kg^{-1} (下同),游离度为 38.20% ~ 66.50%,平均为 57.89%,活性铁与活化度的平均值为 1.74 g kg^{-1} 、5.24%;花岗岩类上发育的红色黏土 B 层的游离铁含量为 $14.60 \sim 31.74 \text{ g kg}^{-1}$,平均为 23.20 g kg^{-1} ,游离度为 27.13% ~ 41.14%,平均为 32.33%,活性铁与活化度的平均值为 1.99 g kg^{-1} 、8.94%。而目前我国亚热带江西南昌的红壤典型剖面中铁的游离度为 34% ~ 39%^[8],湖北红壤的氧化铁游离度为 39.94% ~ 58.16%^[9],浙西红色石灰土的氧化铁游离度为 68.40% ~ 81.00%^[10]。本研究中 B01 土壤铁的游离度接近南昌红壤的最高值;B02 土壤中铁的游离度高于南昌、湖北红壤,但低于浙西红色石灰土。B03 土壤铁的游离度均低于参考剖面,但游离铁的含量均在 30% 以上;B04 土壤铁的游离度与南昌红壤近一致。6 个红色黏土的发育程度均很强,活性铁与活化度的差异则不大;而石灰岩类上发育的土壤的游离铁与游离度均高于花岗岩类上发育的,是因为其黏粒含量高、吸附的游离铁高的结果。

土壤中黏土矿物的类型一定程度上可以反映土壤形成时的环境条件。以 B02、B03 号剖面土壤黏粒的 X 光衍射分析结果可以看出(图 1、图 2),两类岩石上发育的土壤黏土矿物的相对含量均以伊利石蒙脱石混层(80% ~ 81%)为主,伊利石(8% ~ 10%)、高岭石次之(6% ~ 7%),绿泥石少量(4%)。高岭石含量与山西保德红土含量接近(8%)^[5]。高岭石可代表较老的风化阶段,一般认为其是在湿热气候条件下形成的^[11-12]。而北京现代褐土则未有高岭石^[6,13],可见此区域曾经历过较强烈的风化。

① 中国科学院南京土壤研究所. 野外土壤描述与采样手册. 南京:中国科学院南京土壤研究所,2009

表 1 土壤自然条件与剖面形态描述

Table 1 Description of soil natural conditions and morphology of the soil profiles

剖面 Profile	位置 Position	地形 Landform	母质 Parent material	层次 Horizon (cm)	主要形态描述 Main morphological description
B01	平谷区 水峪村 惠和叠 海公墓 东侧	低山 下坡, 坡度 约 10°, 海拔 150 m	白云岩 风化物	Ah:0 ~ 10	棕色 (7.5YR 4/2), 粉砂质黏壤土, 粒状, 多细孔, 无石灰反应, 逐渐平滑边界
				Bt ₁ :10 ~ 41	黄红色 (5YR 4/6), 粉砂质黏壤土, 次棱状, 多微细孔, 结构体面上有 5% ~ 10% 的黏粒胶膜, 无石灰反应, 逐渐平滑边界
				Bt ₂ :41 ~ 62	黄红色 (5YR 4/6), 粉砂质黏壤土, 棱状, 多微细孔, 结构体面上有 > 10% 的黏粒胶膜, 无石灰反应, 突然平滑边界
				C:62 ~ 95	淡灰色 (5YR 7/1), 粉砂质黏壤土; 似石灰状, 突然边界
B02	平谷区 埝子峪 拆迁村 东侧	低山 中坡, 坡度 约 15°, 海拔 152 m	大理化 石灰岩 风化物	R: > 95	硅质白云岩, 研碎粉末有石灰反应
				AB ₂ :0 ~ 30	暗红色 (2.5YR 3/6), 黏土, 大棱块状, 多微细孔, 结构体面上有 5% 的黏粒胶膜, 无石灰反应, 逐渐平滑边界
				Bt:30 ~ 150	暗红色 (10R 3/6), 黏土, 粗大棱块状, 多微细孔, 结构体面上有 5% 的黏粒胶膜, 无石灰反应, 明显平滑边界
8628	昌平区 南口乡 太平庄 南灰山	基岩 残丘, 坡度 < 15°, 海拔 160 m	硅质灰 岩红色 残坡 积物	R: > 150	大理石灰岩, 研碎粉末有石灰反应
				Ah ₁ :0 ~ 18	亮棕色 (7.5YR 5/6), 粉砂壤, 中度中团块, 无石灰反应, 向下逐渐过渡
				Ah ₂ :18 ~ 41	黄红色 (5YR 5/6), 粉砂黏壤, 中度中棱块, 有些结构体面上有胶膜, 无石灰反应, 向下明显过渡
				2Bt:41 ~ 75	红色 (2.5YR 4/6), 黏壤, 强度粗棱块, 结构体面上有连续的厚胶膜, 无石灰反应, 向下明显过渡
B03	密云区 不老屯 镇大窝 铺村	丘陵 梯田, 海拔 110 m	花岗岩 风化物	C: > 75	红黄色 (7.5YR 7/6), 大量石灰状物质, 有些形成结晶的同心圆状的核状物, 强石灰反应
				Ap:0 ~ 20	亮棕色 (7.5YR 5/4), 砂质壤土, 弱屑粒状, 无石灰反应, 突然平滑边界
				Bt ₁ :20 ~ 50	黄红色 (7.5YR 5/6), 砂质黏壤土, 强屑粒状, 大量孔隙, 10% 左右的铁质胶膜; 无石灰反应; 逐渐平滑边界
8616	密云县 高岭乡 四合村 后山	低山, 坡度 约 20°, 海拔 200 m	辉长片 麻岩 残积物	Bt ₂ :50 ~ 110	黄红色 (7.5YR 5/8), 砂质壤土, 强大块状结构, > 35% 的花岗岩碎屑, 大量孔隙, 10% 左右的铁质胶膜, 无石灰反应
				Ah:0 ~ 14	暗黄棕 (10YR 4/4), 壤土, 中度中团块, 无石灰反应, 向下逐渐过渡
				Bt ₁ :14 ~ 32	黄红色 (5YR 5/6), 黏壤, 中度中次棱块, 结构体面上有断续的胶膜, 无石灰反应, 向下逐渐过渡
				Bt ₂ :32 ~ 60	黄红色 (5YR 4/6), 黏壤, 强度中次棱块, 结构体面上有连续的厚胶膜, 少量红色 (2.5YR 4/6) 斑点, 无石灰反应, 向下逐渐过渡
B04	昌平区 延寿镇 慈悲峪村	低山 台地, 坡度 约 5°, 海拔 245 m	花岗岩 风化物	C: > 60	基岩强烈风化物, 岩块可用手掰碎, 在岩块面或裂隙面上有胶膜和黏土物质, 无根系, 无石灰反应
				Ah:0 ~ 30	棕色 (7.5YR 5/4), 粉砂壤土, 团粒状, < 10% 的花岗岩碎屑, 大量孔隙, 无石灰反应, 明显平滑边界
				Bt ₁ :30 ~ 70	棕色 (7.5YR 6/6), 壤土, 屑粒状, < 10% 的花岗岩碎屑, 较多孔隙, 结构体面上有 5% 的铁质胶膜, 无石灰反应; 明显平滑边界
				Bt ₂ :70 ~ 110	红棕色 (5YR 6/6), 黏壤土, 大块状结构, 40% 左右的花岗岩碎屑, 孔隙少, 5% ~ 10% 的锰斑和铁质胶膜, 无石灰反应, 明显平滑边界
				Bt ₃ :110 ~ 130	红棕色 (5YR 6/6), 黏壤土, 大块状结构, < 15% 的花岗岩碎屑, 孔隙少, 10% 左右的锰斑与 5% 左右的铁质胶膜, 无石灰反应
				R: > 130	花岗岩

表 2 土壤中不同形态铁的含量

Table 2 Contents of various forms of ferrum in the soil

剖面 Profile	层次 Horizon	全铁 Fet(g kg ⁻¹)	游离铁 Fed(g kg ⁻¹)	活性铁 Feo(g kg ⁻¹)	游离度 Fed/ Fet(%)	活化度 Feo/ Fed(%)
B01	Ah	51.73	21.70	1.69	41.95	7.78
	Bt ₁	53.09	20.28	2.04	38.20	10.07
	Bt ₂	51.12	19.32	2.13	37.80	11.02
	C	12.73	1.80	0.44	14.18	24.40
B02	AB	63.61	35.64	1.81	56.03	5.09
	Bt	80.01	53.21	1.59	66.50	2.98
	Ap	70.93	19.90	2.08	28.06	10.44
B03	Bt ₁	117.0	31.74	2.70	27.13	8.51
	Bt ₂	110.6	30.82	2.28	27.86	7.39
	Ah	41.47	14.66	2.38	35.35	16.23
B04	Bt ₁	38.79	15.96	1.95	41.14	12.22
	Bt ₂	49.51	16.95	1.63	34.24	9.62
	Bt ₃	45.44	14.60	0.92	32.13	6.30

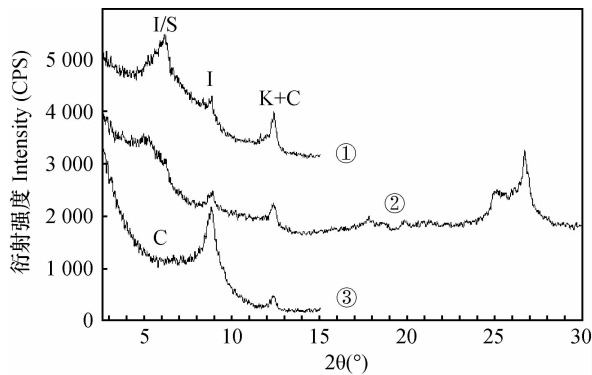


图 1 B02 剖面黏土矿物 X 衍射分析图谱

Fig. 1 X-ray diffraction analysis map of clay minerals of Pinggu 2 profile (30 ~ 150 cm)

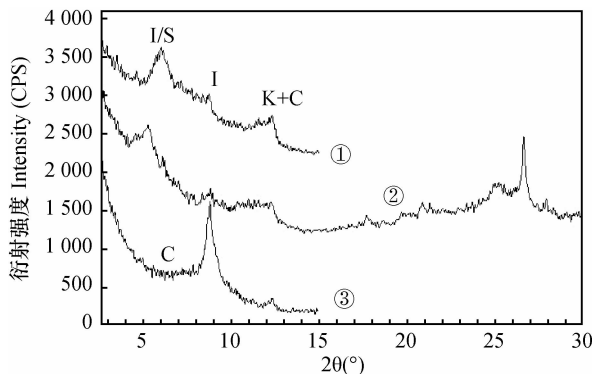


图 2 B03 剖面黏土矿物 X 衍射分析图谱

Fig. 2 X-ray diffraction analysis map of clay minerals of Miyun 7 profile (20 ~ 50 cm)

①天然样品 Normal sample; ②乙二醇处理样品 Glycolated sample; ③550 °C 加热处理样品 Heated sample to 550 °C; I, 伊利石 Illite; K, 高岭石 Kaolinite; C, 绿泥石 Chlorite; I/S, 伊/蒙混层矿物 I/S mixed-layer mineral

由表 3 可看出,与这些土壤的高度黏化、高游离铁与游离度这些代表高度风化的特性相比,之所以这些剖面的 pH 呈微碱性至中性,交换性盐基离子以 Ca²⁺ 为主,盐基饱和度较高,与北京属于现代黄土降尘区,黄土降尘带来的游离碳酸盐使土壤发生复钙作用有关。由于母岩本身的影响,石灰岩类发育的红色土壤的 pH 高于花岗岩类发育的,盐基饱和度相对也高,可能与石灰岩山区径流水中富含钙离子有关。

而北京地质图上标注红色黏土地区有中更新世的冲积物,有资料表明,石灰岩上的残余红色黏土是上新世时期的产物^[14],陈焕伟^[4]研究了深厚黄土剖面中的埋藏型燥红土,均表明北京自 50 万年前至 1 万年前曾发生过多次温湿与冷干的气候变化。这些研究结果说明 6 个红色黏土剖面应是过去湿热气候条件下的古土壤。至于并未像现代亚热带的红壤和红色石灰土一样,其黏土矿物中的高岭石含量少,也许是风化过程并非均沿着“水化云母-蒙脱石-高岭石-铁铝氧化物”的序列单向进行,红壤、红色石灰土在复钙富盐基的情况下,是否 1:1 型的高岭石能够转换成 2:1 型的蒙脱石、伊利石,需要进一步研究验证。

2.3 土壤剖面微形态特征

对 B01 的 Bt₁、C 层, B03 的 Bt₁ 层分别做了切片进行微形态描述(图 3 ~ 图 5); 8628 号的 2Bt 层, 8616 号的 Bt₁、Bt₂ 层的微形态描述见文献[6]。结果显示,所有土壤结构体内均有孔道、孔洞及较多的红棕色黏土物质, B01 的 Bt₁ 层结构呈海绵状。 B01 的 Bt₁ 和 C 层、8616 号的 Bt₁ 层均有光性定向

黏粒胶膜及少许扩散铁质凝团;8628 号的剖面中还有混合的棕黑色铁锰凝团。微形态的结构特征通常可以反映一定的成土环境。孔道、孔洞的存在,说明当时植被繁茂,在一定程度上也可指示气候较

湿润^[15];铁质黏粒胶膜和聚集状黏土物质的出现反映了温暖湿润的气候特征,风化与淋溶作用强^[16]。由此可见,研究土壤均是在有利于强风化淋溶的暖湿条件下发育形成的。

表 3 土壤剖面的一般化学性质

Table 3 General chemical properties of the soil profiles

剖面 Profile	层次 Horizon	pH		SOC(g kg ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	交换性盐基 Exchangeable base (cmol kg ⁻¹)				盐基饱和度 Base saturation (%)
		H ₂ O	CaCl ₂			K ⁺	Na ⁺	1/2Ca ²⁺	1/2Mg ²⁺	
B01	Ah	7.18	6.29	19.02	0.07	0.66	0.81	23.83	6.97	100.0
	Bt ₁	6.95	6.13	9.72	0.13	0.46	0.94	19.43	7.23	100.0
	Bt ₂	7.23	6.35	8.21	0.10	0.46	0.81	18.53	7.75	100.0
	C	7.98	7.68	5.31	17.61	0.43	0.81	59.59	12.34	100.0
B02	AB	6.75	5.71	8.12	0.11	0.77	1.34	28.95	13.44	100.0
	Bt	7.95	7.20	5.97	0.13	0.71	1.21	39.58	15.02	100.0
8628	Ah ₁	8.15	7.39	5.21	0.07	0.17	—	19.00	3.28	99.54
	Ah ₂	7.80	7.22	2.33	0.01	0.17	—	18.30	3.51	95.79
	2Bt	7.95	7.32	1.38	0.02	0.22	—	26.45	6.08	90.16
	C	8.40	7.87	0.93	29.14	—	—	—	—	—
B03	Ap	6.88	5.87	10.98	0.10	0.13	0.14	40.32	9.18	100.0
	Bt ₁	6.80	5.64	6.75	0.14	0.19	0.29	56.25	20.20	100.0
	Bt ₂	7.04	6.13	2.03	0.09	0.12	0.24	48.87	19.98	100.0
8616	Ah	7.20	6.50	3.52	0.00	0.23	—	11.00	3.23	71.17
	Bt ₁	7.30	6.45	1.12	0.00	0.18	—	13.50	8.78	83.85
	Bt ₂	6.80	4.90	0.76	0.00	0.22	—	10.40	9.37	60.84
B04	Ah	6.44	5.95	21.93	0.19	0.29	0.29	40.56	8.25	100.0
	Bt ₁	6.56	5.72	3.06	0.17	0.06	0.14	24.31	5.63	100.0
	Bt ₂	6.78	5.66	1.63	0.13	0.22	1.05	42.94	7.01	100.0
	Bt ₃	6.73	5.66	1.29	0.15	0.28	1.31	46.18	7.43	100.0

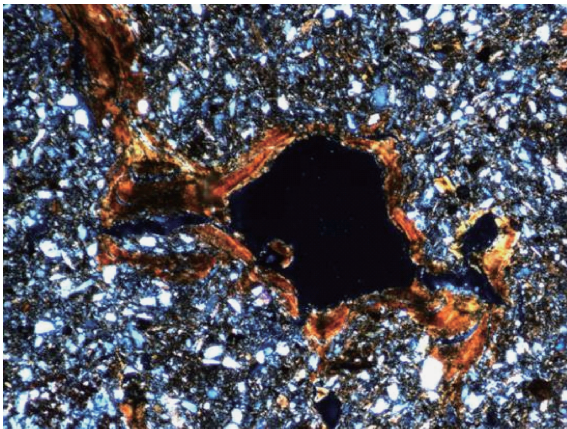


图 3 B01 剖面 Bt₁ 层层状铁质淀积黏粒胶膜
(正交偏光, ×50)

Fig. 3 Oriented iron argillan in Bt₁ horizon of B01 profile
(under crossed polarized light, ×50)

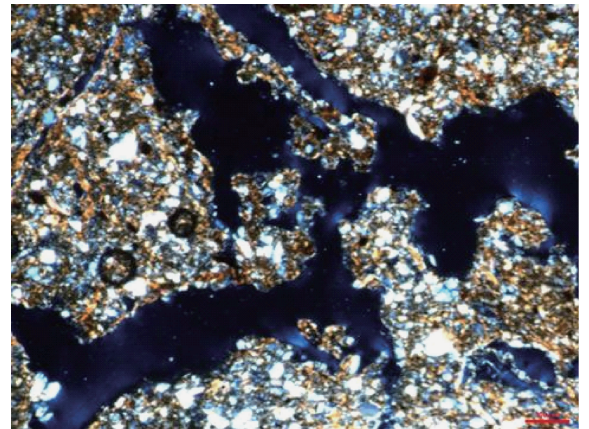


图 4 B01 剖面 C 层发育较好的孔道
(正交偏光, ×50)

Fig. 4 Better development channel in C horizon of B01 profile (under crossed polarized light, ×50)

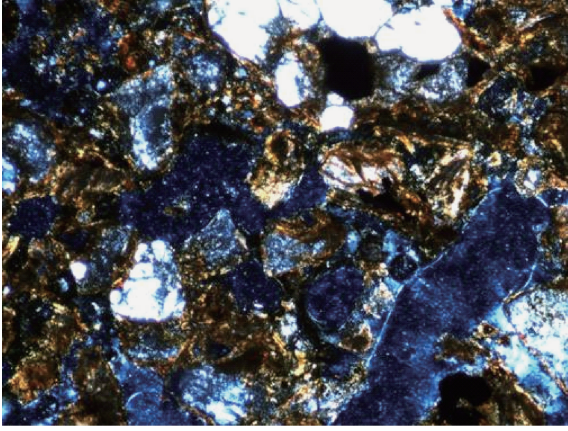


图5 B03剖面 Bt₁层连通性较好的发达孔隙
(正交偏光, ×50)

Fig. 5 Good connected and developed pore in Bt₁ horizon of B03 profile (under crossed polarized light, ×50)

2.4 主要成土过程解析

2.4.1 黏化过程 黏化过程有两方面:一是原生矿物就地风化向次生黏土矿物的转化,称为残积黏化,黏粒无光学向性;二是黏粒随土壤重力水在剖

面中的迁移与淀积,称为淋淀黏化,可看到明显淀积或光性定向黏粒。残积黏化的黏粒通常来源于同一层次的粉粒,若某层次的黏粒/粉粒比值明显高于母质层,可能是残积黏化的结果^[17]。但是通常情况下,残积黏化和淋淀黏化在一个剖面中常常同时混合存在。从表4中的数据可看出,B01、8628号剖面呈现出一定的残积黏化特点。但是从对土壤微形态切片的观测结果来看,B01的Bt₁层、C层,8616号的Bt₁层均有明显的黏粒胶膜,是淋淀黏化作用的结果;8628号、B03的Bt₁层无光性黏粒胶膜。由此可见,B01、8616号中黏化层可能淋淀黏化作用更强些,但也有残积黏化的特征,8628号、B03中黏化层则主要是残积黏化的作用。从上下层黏粒含量逐渐增加的趋势来看,B02、B04号剖面可能淋淀黏化更强些。

淋淀黏化过程是在强烈淋洗脱钙基础上才发生的。较高含量的钙离子存在阻碍黏粒的移动和铁锰等氧化物的活化;只有脱钙,黏粒失去与钙相固结的能力,才能更好地进行淋淀黏化^①。无论是

表4 土壤剖面颗粒组成与黏粒/粉粒比

Table 4 Particle size compositions and clay/silt ratios of different soil horizons of the profiles

剖面 Profile	层次 Layer	颗粒组成 Particle size compositions (%)			黏粒/粉粒 Clay/Silt
		2 ~ 0.05 mm	0.05 ~ 0.002 mm	< 0.002 mm	
B01	Ah	8.63	49.55	41.82	0.84
	Bt ₁	4.32	54.50	41.18	0.76
	Bt ₂	9.67	51.11	39.22	0.77
	C	6.48	66.21	27.31	0.41
B02	AB	4.62	21.47	73.91	3.44
	Bt	7.88	1.51	90.61	60.09
8628	Ah ₁	18.96	62.81	18.23	0.29
	Ah ₂	6.29	55.51	38.20	0.69
	2Bt	4.99	33.15	61.86	1.87
B03	C	27.19	38.29	34.52	0.90
	Ap	13.32	28.78	57.90	2.01
	Bt ₁	22.36	27.03	50.60	1.87
8616	Bt ₂	10.33	12.26	77.41	6.31
	Ah	29.01	49.60	21.39	0.43
	Bt ₁	32.40	35.92	31.68	0.88
	Bt ₂	34.85	28.08	37.07	1.32
B04	Ah	22.12	55.74	22.14	0.40
	Bt ₁	36.99	43.59	19.42	0.45
	Bt ₂	35.92	34.70	29.38	0.85
	Bt ₃	26.05	42.31	31.64	0.75

① 北京市农业区划办公室,等. 北京土壤(内部资料). 1984

发育在碳酸盐上,还是发育在花岗岩上的这些红色黏土,其土壤结构体面上存在的黏粒胶膜,均说明在当时湿热条件下土壤都脱钙了。由表 4 可知,除 B04 号剖面 B_{t1} 层黏粒含量低些外,其余土壤 B 层黏粒含量均在 30% 以上,所有剖面在胶膜数量上也均符合黏化层的标准。而北京现代褐土黏化层黏粒含量通常在 10% ~ 22%,黏化程度很轻^①。通常黏化层形成的速度非常缓慢,它的存在表明地表至少在稳定的状态下经历了 3 ~ 5 ka^[18]。而发育在碳酸盐上的红色黏土较发育在花岗岩上的红色黏土黏粒含量高,是因为发育在花岗岩上的红色黏土中有难以风化的石英砂粒的结果。

2.4.2 铁质化过程 在湿热气候条件下,原生铝硅酸盐矿物发生强烈水解,形成碱性的硅酸淋溶;风化盐基进一步淋溶产生铁质化过程。即含铁矿物水解形成游离铁,氧化为铁质胶体;在干旱条件下,氧化铁胶体蒙覆于黏粒表面,并固化和结晶化,变为赤铁矿,使土壤颗粒变红^[19]。当 pH 为 4.5 ~ 5.2 时, SiO₂ 和 Al₂O₃ 胶体在酸性溶液中最易中和生成高岭石^[20],所以高岭石可反映弱酸性、淋溶与化学风化作用强烈的环境条件。B02、B03 剖面中出现的高岭石,所有研究剖面中颜色较红、游离铁含量均大于 14 g kg⁻¹,游离度接近甚至高于红壤,说明土壤发育过程中均有铁质化过程。而 8628、8616 号剖面虽缺氧化铁相关数据,但从微形态特征上看,也具有铁质化过程。

2.4.3 复盐基过程 在北京现代半湿润的季风气候条件下,如果成土母质中含有碳酸盐,土壤会发生碳酸钙的淋洗与淀积作用,应该有钙积层。但是,我们研究的 6 个红色土壤均没有钙积层。从上面分析的这些土壤发生过铁化过程来说,高强度的淋溶风化作用应该使土壤偏酸性。但是研究剖面

pH 均呈微碱性到中性,交换性盐基离子以 Ca²⁺ 为主,盐基饱和度较高;8628、B04 号剖面表层的碳酸钙含量高于下层。这说明土壤发生了新的复盐基过程。北京靠近蒙古高原边缘,加之现代冬春多风沙的气候特点,历史上发生过多大的降尘事件^[21],仅 2006 年 4 月 16—17 日,北京发生的一次强降尘落到地面的尘土达 0.3 ~ 1.0 mm 厚^[22],这些黄土物质主要来自西部及北部的沙漠、戈壁地区^[24]。可以说这些复盐基过程是由近代黄土降尘带来的碳酸盐参与成土作用造成的,其他学者的研究也证实,北方的许多古土壤的真正母质是成土过程中不断添加的粉尘物质^[23-27]。

2.5 土壤剖面的系统分类

在土壤发生学的基础上,以《中国土壤系统分类检索》(第三版)^[28]中诊断层、诊断特性的定量化特点为原则,对 6 个研究剖面所具有的诊断层、诊断特性进行鉴定,结果如下:(1)黏化层:在形态上,黏粒胶膜数量 ≥ 5%,或色调较红,较紧实;B 层质地均较壤质细,厚度 ≥ 7.5 cm;所有剖面均符合黏化层的标准。(2)参考已有土壤温度、水分资料^[6],所有剖面土壤温度为温性;其中 B01、B02、8628、8616 号剖面具有半湿润土壤水分状况,B03、B04 由于所处地域降雨量较大,因而具有湿润的土壤水分状况。(3)铁质特性:土壤基质色调为 5 YR 或更红;和或整个 B 层细土部分 DCB 浸提游离铁 ≥ 14 g kg⁻¹(游离 Fe₂O₃ ≥ 20 g kg⁻¹),但研究剖面交换性盐基离子均以 Ca²⁺ 为主,盐基饱和度较高,风化作用尚未达到富铁层的标准;除 8628、8616 号剖面缺少游离铁数据外,其余剖面均具有铁质特性。此外,B02 剖面还具有表蚀现象。由于所有剖面的黏化层均出现在土表至 125 cm 内,因此,研究剖面均属于淋溶土,其系统分类检索结果见表 5。

表 5 各剖面的土壤系统分类

Table 5 Classification of soil profiles in Chinese soil taxonomy

剖面 Profile	土纲 Order	亚纲 Suborder	土类 Group	亚类 Subgroup
B01	淋溶土 ^①	干润淋溶土 ^②	铁质干润淋溶土 ^④	普通铁质干润淋溶土 ^⑦
B02	淋溶土 ^①	干润淋溶土 ^②	铁质干润淋溶土 ^④	表蚀铁质干润淋溶土 ^⑧
8628	淋溶土 ^①	干润淋溶土 ^②	筒育干润淋溶土 ^⑤	普通筒育干润淋溶土 ^⑨
B03	淋溶土 ^①	湿润淋溶土 ^③	铁质湿润淋溶土 ^⑥	普通铁质湿润淋溶土 ^⑩
8616	淋溶土 ^①	干润淋溶土 ^②	筒育干润淋溶土 ^⑤	普通筒育干润淋溶土 ^⑨
B04	淋溶土 ^①	湿润淋溶土 ^③	铁质湿润淋溶土 ^⑥	普通铁质湿润淋溶土 ^⑩

①Argosols, ②Ustic Argosols, ③Udic Argosols, ④Ferri-Ustic Argosols, ⑤Hapli-Ustic Argosols, ⑥Ferri-Udic Argosols, ⑦Typic Ferri-Ustic Argosols, ⑧Trunc Ferri-Ustic Argosols, ⑨Typic Hapli-Ustic Argosols, ⑩Typic Ferri-Udic Argosols

3 结 论

北京地区的红色黏土其颜色与现今亚热带的红壤颜色相近,铁的游离度接近甚至高于红壤;黏土矿物类型虽然不像红壤一样以高岭石为主,但也有少量高岭石;无论是发育在石灰岩类上的,还是发育在花岗岩类上的,均无石灰反应。与北京地区普遍存在的褐土类在颜色、游离氧化铁含量、黏土矿物类型上均明显不同。这说明,北京地区的红色黏土其形成于类似今天红壤地区的湿热条件下,土壤均曾经强烈的风化淋溶。但是在复盐基过程作用及黄土降尘影响下,使得这些红色黏土的 pH 呈微碱性至中性,交换性盐基离子以 Ca^{2+} 为主,盐基饱和度较高。从其本身特性出发,按照现行的《中国土壤系统分类检索(第三版)》的标准进行检索,6 个研究剖面均属于淋溶土纲,向下续分为普通铁质干润淋溶土、表蚀铁质干润淋溶土、普通筒育干润淋溶土、普通铁质湿润淋溶土 4 个亚类。

参 考 文 献

- [1] 韩春兰,王秋兵,孙福军,等. 中国北方红色土壤分类问题的探讨. 土壤通报,2006,37(3):572—575. Han C L, Wang Q B, Sun F J, et al. The discussion on the classification of Latosol-like soils in North of China (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(3): 572—575
- [2] 王秋兵,韩春兰. 古红土在中国土壤系统分类中的分类地位探讨. 沈阳农业大学学报,2008,39(1):3—6. Wang Q B, Han C L. Discussion on the status of Paleo-latosol-like soils in the Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Journal of Shenyang Agricultural University, 2008, 39(1): 3—6
- [3] 龚子同,张甘霖,陈忠诚,等. 土壤发生与系统分类. 北京:科学出版社,2007. Gong Z T, Zhang G L, Chen Z C, et al. Pedogenesis and Soil Taxonomy (In Chinese). Beijing: Science Press, 2007
- [4] 陈焕伟. 北京低山丘陵区古土壤的研究. 北京:中国农业大学,1990. Chen H W. Study on the paleosols in hilly regions of Beijing (In Chinese). Beijing: China Agricultural University, 1990
- [5] 陆景冈. 土壤地质学. 北京:地质出版社,1997. Lu J G. Soil geology (In Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 1997
- [6] 张凤荣. 北京山地与山前土壤的系统分类. 北京:中国农业大学,1988. Zhang F R. The taxonomy of mountain and piedmont soils in Beijing region (In Chinese). Beijing: China Agricultural University, 1988
- [7] 张甘霖,龚子同. 土壤调查实验室分析方法. 北京:科学出版社,2012. Zhang G L, Gong Z T. Soil survey laboratory methods (In Chinese). Beijing: Science Press, 2012
- [8] 赵其国,石华. 我国热带、亚热带地区土壤的发生、分类及其特点//李庆远. 中国红壤. 北京:科学出版社,1983:1—23. Zhao Q G, Shi H. Pedogenesis, classification and characteristics in tropical and subtropical areas, China//Li Q K. Red soils of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983: 1—23
- [9] 阳海清. 鄂东南红壤发生特性的初步研究. 土壤,1988,20(1):14—18. Yang H Q. Preliminary studies on genetic properties in Southeast Hubei (In Chinese). Soils, 1988, 20(1): 14—18
- [10] 章明奎,胡国成. 浙西石灰岩发育土壤中氧化铁矿物组成及特性的研究. 土壤,2000,32(1):38—42. Zhang M K, Hu G C. Studies on iron oxide minerals composition and characteristics of soil originated from carbonaceous rocks in West Zhejiang (In Chinese). Soils, 2000, 32(1): 38—42
- [11] 汤艳杰,贾建业,谢海德. 粘土矿物的环境意义. 地学前缘,2002,9(2):337—344. Tang Y J, Jia J Y, Xie X D. Environment significance of clay minerals (In Chinese). Earth Science Frontiers, 2002, 9(2): 337—344
- [12] 隆浩,王晨华,刘勇平,等. 粘土矿物在过去环境变化研究中的应用. 盐湖研究,2007,15(2):21—25. Long H, Wang C H, Liu Y P, et al. Application of clay minerals in paleoenvironment research (In Chinese). Journal of Salt Lake Research, 2007, 15(2): 21—25
- [13] 张凤荣,李连捷. 南口古土壤与土壤地理发生分类体系. 土壤,1993,25(1):15—17. Zhang F R, Li L J. Paleosols of Nankou and soil genetic classification (In Chinese). Soils, 1993, 25(1): 15—17
- [14] 魏兰英,卢演涛,安苜生,等. 北京南口红土地砾石层、古土坡的组成和结构特征//第三届全国第四纪学术会议论文集. 北京:科学出版社,1982:90—94. Wei L Y, Lu Y C, An Z S, et al. Composition and structural feature of gravel layer on red soil platform in Nankou, Beijing//Proceedings of the third national symposium on Quaternary (In Chinese). Beijing: Science Press, 1982: 90—94
- [15] 张岩青,庞奖励,黄春长,等. 宁夏长城塬全新世黄土-古土壤序列微形态特征及意义. 中国沙漠,2010,30(6):1491—1496. Zhang Y Q, Pang J L, Huang C C, et al. Significance of micro-morphological features of the holocene loess-paleosol profile in Loess Plateau (In Chinese). Journal of Desert Research, 2010, 30(6): 1491—1496
- [16] 庞奖励,黄春长,张张平. 周原全新世复合古土壤和成壤环境的微形态研究. 土壤学报,2003,40(1):22—28. Pang J L, Huang C C, Zhang Z P. Micromorphological studies of the holocene soil complex and pedogenical environment on the Zhouyuan loess tableland (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 22—28
- [17] 张凤荣,王数,孙鲁平. 北京低山与山前地带土壤发生过程及不同分类系统的对比. 土壤通报,1999,30(4):145—148. Zhang F R, Wang S, Sun L P. Soil generating process and the contrast of different classification system of mountain and piedmont in Beijing (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1999, 30(4): 145—148

- [18] 陈留美,张甘霖. 土壤时间序列的构建及其在土壤发生研究中的意义. 土壤学报, 2011, 48(2): 421—428. Chen L M, Zhang G L. Soil chrono sequences and their significance in the study of pedogenesis (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(2): 421—428
- [19] 张凤荣. 土壤地理学. 北京: 中国农业出版社, 2002. Zhang F R. Soil geography. Beijing: China Agriculture Press (In Chinese), 2002
- [20] 鲁春霞. 粘土矿物在古环境研究中的指示作用. 中国沙漠, 1997, 17(4): 456—460. Lu C X. Clay minerals as indicators of paleoenvironment (In Chinese). Journal of Desert Research, 1997, 17(4): 456—460
- [21] 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析. 中国科学: B辑, 1984, (3): 278—288. Zhang D E. Synoptic-climatic studies of dust fall in China since historic times (In Chinese). Science in China: Series B, 1984, (3): 278—288
- [22] 刘东生, 韩家懋, 张德二, 等. 降尘与人类世沉积——I: 北京 2006 年 4 月 16 ~ 17 日降尘初步分析. 第四纪研究, 2006, 26(4): 628—633. Liu D S, Han J M, Zhang D E, et al. Falling dust and deposits in anthropogene—I: Preliminary analyses of the dust fall in Beijing on April 16 ~ 17, 2006 (In Chinese). Quaternary Sciences, 2006, 26(4): 628—633
- [23] 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. Liu D S. Loess and environment (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [24] 陈旸, 陈骏, 刘连文. 甘肃西峰晚第三纪红黏土的化学组成及化学风化特征. 地质力学学报, 2001, 7(2): 167—175. Chen Y, Chen J, Liu L W. Chemical composition and characterization of chemical weathering of Late Tertiary red clay in Xifeng, Gansu Province (In Chinese). Journal of Geomechanics, 2001, 7(2): 167—175
- [25] 岳乐平, 李建星, 郑国璋, 等. 鄂尔多斯高原演化及环境效应. 中国科学: D 辑, 2007, 37(S1): 16—22. Yue L P, Li J X, Zheng G Z, et al. Ordos Plateau and the evolution of the environmental effects (In Chinese). Science in China: Series D, 2007, 37(S1): 16—22
- [26] 胡雪峰, 鹿化煜. 黄土高原古土壤成土过程的特异性及发生学意义. 土壤学报, 2004, 41(5): 669—675. Hu X F, Lu H Y. Peculiarities in soil-forming processes of paleosols in the loess plateau and their pedogenic implication (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(5): 669—675
- [27] 张勇, 李吉均, 赵志军, 等. 中国北方晚新生代红黏土研究的进展与问题. 中国沙漠, 2005, 25(5): 722—730. Zhang Y, Li J J, Zhao Z J, et al. Advanced in research of the Late Cenozoic red clay in North China (In Chinese). Journal of Desert Research, 2005, 25(5): 722—730
- [28] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索. 第 3 版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001. Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Keys to Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). 3rd ed. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001

DISCUSSION ON CHARACTERISTICS, PEDOGENETIC PROCESS AND TAXONOMY OF RED CLAY IN BEIJING

Wang Xiuli¹ Zhang Fengrong^{1†} Wang Shu¹ Wu Hao¹ Yang Lifang²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

(2 Center of Agricultural Analysis and Testing, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract To study pedogenetic process and taxonomy of red clay in Beijing, six red clay profiles developed from granites and limestones were selected as samples for analysis of soil profile morphology, soil physical and chemical properties and soil mineral composition. Results show that argillan existed on the surface of soil ped of all the soil profiles, no lime reaction was observed throughout the profiles, and the soils were high in Fed/Fet and low in Feo/Fed. The red clay soil originated from limestones was finer in texture, higher in free iron, redder in color and higher in aggregation degree of the ped, while those from granites was lower in aggregation degree of the ped because of its higher content of sands of hard-to-weather quartz. During the pedogenetic processes of the soils, intensive argillation and ferruginization occurred presumably under hot and humid paleoclimate. However, with time elapsing, the red clays in the area have now become slightly alkaline or neutral in pH, dominated with Ca^{2+} in exchangeable base and high in base saturation, as a result of modern loess precipitation and consequent base complication. According to the principles and methods of Chinese Soil Taxonomy (3rd edition), the six red clay profiles should be sorted into four different subgroups of Argosols.

Key words Beijing; Red clay; Pedogenetic process; Soil Taxonomy

(责任编辑: 卢萍)