

中国黄土高原古土壤中粘粒移动 问题探讨

朱显谟 程文礼

(中国科学院西北水土保持研究所, 712100)

摘 要

黄土高原黄土沉积剖面中常出现若干古土层, 该层往往是碳酸钙被淋失而粘粒含量特高的土壤发生层。因而对于该层粘粒来源引起了很大的争论。

残积粘化论者认为黄土层中古土壤中的粘粒以伊利石为主, 且为钙镁饱和, 亲水能力差, 不易发生机械淋溶现象。但是不论现代或古代土壤发生层中的确发生粘粒局部位移和富聚等现象, 如结耕体外常见有发亮胶膜的出现和在薄片观察中可见光性定向粘粒和螺旋状聚集等现象。

本文除确认上述现象存在外, 并认为其原因和一般土壤剖面中出现的机械淋溶淀积现象有所不同, 而是强烈的生物作用, 尤其早先草本植物繁生的软土表层中生物膜解矿化, 矿质反馈和 2:1 晶型类粘土矿物的生物形成作用, 后来又屡经冻融以及微冰楔状孔隙冰晶体消融作用所造成的, 尤其后者甚至会促使粘化层向母质层过渡的地方出现星型——蒜瓣状表面光滑发亮的土体。

关键词 土内气态水的冻结集聚, 交替冻融作用, 微冰楔状孔隙冰晶体

黄土高原黄土中的“红层”, 自从被确认为古土壤^[1,2]以来, 更详细的研究和古土壤类型的划分, 可以说是以光性定向粘粒的形态确定^[3,4]为突破口的。作为土壤次生粘土矿物的研究, 无疑对土壤发生至为重要。朱海之、安花生等通过薄片观察^[3,4], 确定了光性定向粘粒的存在, 并对其形态诸如流胶状、螺旋状、泉华状等作了较详细的描述, 认为它们是粘粒迁移淀积的结果。至少有两个原因使我们对此产生了极大的兴趣: 一是粘化层粘粒的来源问题; 二是粘粒怎样形成上述各种形状的胶膜? 下面将我们这些年来对黄土高原埋藏古土壤的零碎研究结果整理如下。

一、从土壤发生学上看粘粒移动

对于黄土高原古土壤来讲, 粘化层不但粘粒含量高, 有机质含量也高, 而易溶盐则相反(表 1), 所以腐殖质层和淋溶层与粘化层是一致的。作为粘化层的形成无非是就地形成的“残积粘化”和淀积粘粒的结果。因为古土壤是当初的表层, 生物活动和水热条件变化都很剧烈, 无疑是矿物发生着破碎和部分改组, 所以残积粘化是首要的, 但是否还有淀积粘粒呢? 粘粒的破坏性移动是灰化土的特征, 而机械移动是棕壤的特征。前者在黄土区

是不存在的,就后者来讲,首先要使粘粒分散到水中,然后才能移动。粘粒中可能分散到水中的主要是粘土矿物,而黄土区古土壤粘土矿物中主要是伊利石和少量蛭石等,伊利石的亲水能力较差(其膨胀度为 2.5%,比高岭石的还小),加上古土壤是偏碱性的,且为 Ca、Mg 等盐基所饱和^[6],大部分古土壤还有 CaCO₃。伊利石和蛭石絮凝的可能性很大,特别是在有 Fe⁺⁺⁺、Al⁺⁺⁺ 存在的条件下^[12],所以从移动的条件上看,粘粒移动的可能性不大,不像棕壤,碳酸盐淋失殆尽,土壤偏酸性,盐基不饱和。同时透水性很强,决非缓渗层。

表 1 黄土中古土壤剖面各发生层基本特征

Table 1 The basic characteristics of paleosol profiles in the loess plateau

采样地点 Sampling site	层次 Horizon	CaCO ₃ (%)	有机质 O.M. (%)	粘粒(物理性) <0.01mm Clay physical (%)	粘粒 <0.001mm Clay (%)
岐山台塬古 S ₁	A	0.36	1.12	56.65	34.05
	AB	0.34	0.81	48.25	27.65
	B _{C_a}	17.39	0.54	45.65	24.95
	C	6.76	0.50	46.40	25.85
武功台塬古 S ₁	A	0.44	0.86	56.85	33.35
	AB	0.60	0.57	49.30	28.10
	B _{C_a}	17.46	0.49	45.20	25.05
	C	11.26	0.51	47.80	27.00
西峰古 S ₁	A	9.55	1.25	—	18.00
	AB _{C_a}	15.57	0.71	—	16.00
	B _{C_a}	15.40	0.53	—	14.00
	C	16.41	0.35	—	13.00
山西离石王家沟古 S ₁ ¹⁾	A	3.13	0.67	—	31.95
	AB	0.37	0.59	—	31.46
	B _{C_a}	10.17	0.37	—	23.59
山西离石王家沟古 S ₁ ¹⁾	A	0.42	0.43	—	29.04
	AB	0.18	0.43	—	27.16
	B _{C_a}	16.05	0.31	—	20.11

1) 石元春资料。

如果粘粒发生大量移动,必然有一个来源层次,所以 Buol^[13] 等认为,粘粒在土体内以悬浮液状态移动,结果形成(1)粘粒减少的 A 层,(2)富含粘粒的 B 层等。通过机械分析,在古土壤剖面上从 A 层→C 层,一般是粘粒上多下少(表 1),如果将粘化层理解为粘粒的淀积层,则此种现象不好解释。

古土壤的粘粒中富含铁,其富集率(粘粒铁:土体铁)为 1.90±0.03%。在偏光显微镜下,可以看到几乎所有的粘粒胶膜都和铁共生而染成红棕色,所以设想,粘粒发生机械移动,将带动铁在剖面上机械移动。然而从 Fe₂O₃/Al₂O₃ 比值^[14](表 2)来看,在古土壤剖面上变化极微,说明铁在剖面上没有自身移动,更未在某层富集,前人亦有所论断。就拿颜色最棕的洛川剖面第五层古土壤来讲,粘化层的 Fe₂O₃/Al₂O₃ 竟然和钙积层的非常接近。这说明铁在粘化层的积聚主要是由于别的元素淋洗所致,也间接地说明了粘粒的几

乎不移动。但是不论在偏光显微镜下或田间土壤剖面上确实看到这些古土壤中有大量粘粒胶膜,甚至在 CaCO_3 含量较多的古土壤中也普遍存在,这又怎么解释呢?

二、微形态观察结果

化学分析的结果是所采样层的平均值,微形态观察可以弥补其不足。通过观察,我们认为:

表 2 黄土高原古土壤剖面 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值

Table 2 The Fe_2O_3 , Al_2O_3 ratios in the paleosol profiles of loess plateau

剖面地点 Profile site	A ₁	AB _{C_a}	B _{C_a}	BC	C
合水兰家庄古土壤	0.224	0.232	0.219	0.218	—
绥德辛店沟古土壤	0.237	0.234	0.217	—	0.215
甘肃西峰古土壤	0.228	0.232	0.232	0.230	0.223
陕西长安古土壤	0.280	0.285	0.312	0.311	0.301
陕西武功古土壤	0.230	0.250	0.240	0.250	—
陕西临潼古土壤	0.305	0.287	0.301	0.302	0.297
	B _{1t}	B _{1t}	B _{1t'}	B _{2t'}	B _{C_a}
洛川古土壤 S ₂ ¹⁾	0.2525	0.2709	0.2486	0.2432	0.2528

1) 根据安芷生^[1]资料计算而来。

1. 总的说来,古土壤遭受了较强的生物风化作用,和强烈的生物反馈作用^[4],铁和粘粒共生,其黄—红棕色从土壤基质向孔隙边缘逐渐过渡,胶膜多在孔隙侧壁上,其中光性定向粘土并不占多数。

2. 粘土胶膜的生成与生物活动有极大的关系,因为只有生物活动才能使铁与粘粒胶膜共生。固然孔隙除了是根系生长的地方外,同时也是水分运行的通道,可是铁活动的 pH 一般在 5 以下,而黄土区古土壤的 $\text{pH} > 7$ ^[6]。所以生物是非水成型,至少是非酸性土壤铁活动的主要因子,笔者在原始成土过程的地衣时期就观察到菌丝体部分有铁质染渍^[7]。后来我们又从植物尤其草本植物灰分析中获得大量铁素在根系中富聚。通过观察,将与生物活动关系密切的胶膜分为以下几类:

(1) 由动物如蚯蚓等吞食,径体内粘液作用而排泄出来的粪便胶膜^[8]。

(2) 由微生物分解植物残体时所形成的胶膜,它通常虽不是定向排列的,但常保持细胞组织的残迹。

(3) 由植物根系在其生长过程中挤压的胶膜。主要是根际微域环境和根际微生物矿化并合成粘粒而由植物根挤压而成。这种胶膜通常局部定向。最近笔者在沈阳郊外黄土中发现已矿化成蛭石的树根。

(4) 由极化植物残体和沿植物组织形成的“假晶”而成的光性定向胶膜。随着植物根的腐解(尤其每年草本植物根系的死亡和再生作用),溶胶渗入植物残体,然后沿植物组织合成处在不同结晶阶段的粘土物质,结果沿植物组织形成“假晶”^[8]。现在所看到的一部分定向排列胶膜可能是这些“假晶”中的植物残体完全分解掉以后的产物。现代黑垆土,

软土表层 (Mollic Epipedon) 下部粘土化作用的强烈进行, 不就是由于草本植物根系不断生长腐解, 矿化反馈合成, 形成 2:1 型粘土的证明吗^[11]?

3. 在黄土高原古土壤中, 确实也看到有流胶状、贝壳状、螺纹状、泉华状和波纹状条纹的粘粒胶膜^[3,4]。对于此种情况的解释, 我们认为, 它主要不是水分机械淋洗所致, 很可能与冻融交替有关。当土壤开始冻结时, 水与土粒相互脱离, 水分首先在空隙中形成固态, 以后土体内水分不断以气态的方式向空隙中移动并被冻结集中, 冻层形成以后, 下层水分上移, 并在冻层下不断聚集, 结果形成一种特殊成因的“微冰楔”(我们不妨称之为“微冰楔状孔隙冰晶体”), 且其体积不断增大, 挤压孔隙侧壁的粘粒并在不断冻融交替的作用下, 使其定向排列; 另一方面, 冰晶微隙中多少夹有粘土物质, 在冻结时, 势将迫使其沿冰结晶的方向排列, 形成波纹状消光。当地温回升, “微冰楔状孔隙冰晶体”消融时, 还可以带动冰晶隙中的粘土形成“微蠕动流”, 在较短距离内沿孔隙侧壁缓慢流动, 形成所谓流胶状粘粒胶膜, 如遇到封闭面较大的孔隙时, 在其末端逐渐聚集, 形成诸如螺纹状, 泉华状粘粒胶膜, 或者使粘粒吸水膨胀, 当水分减少甚至干燥时, 粘粒不断析出并重新排列。当消融水流大量下渗, 甚至在适当地方不断聚集, 就为以后形成星形——蒜瓣状表面光滑发亮的土体提供了条件。

另外, 野外可以见到大裂隙壁上或自然剖面上有流水带动的泥浆分布, 它遵从流水分选原则, 上粗下细。然而它是一个地质过程, 与粘粒的机械淋溶不同, 且一般只在出露陡壁地表和近地表土层的裂隙中发生。

总之, 黄土高原古土壤粘粒胶膜的种类和形成机理复杂多样, 虽然不可否认水在运动中的局部作用, 但必竟不是主要的。本文如能起到抛砖引玉的作用, 则深感幸甚矣!

三、结 论

粘土胶膜的成因是多方面的, 特别是强烈的生物作用和冰融交替的作用。后者甚至会促使粘化层向母质层过渡的地方形成所谓星形——蒜瓣状表面光滑发亮的土体。粘粒胶膜呈现黄—红棕色的原因, 主要与生物吸收代谢铁有关, 尤其草木植物根部的铁质富聚现象。光性定向粘土的存在, 不能作为粘粒在成壤过程中随水机械淋溶的标志, 在黄土高原埋藏古土壤中, 尤其是这样。

参 考 文 献

1. 朱显谟, 1958: 关于黄土层中红层问题的讨论。中国第四纪研究, 第 1 卷 1 期, 74—82 页。
2. 朱显谟, 1964: 我国黄土性沉积物中的古土壤。中国第四纪研究, 第 4 卷 1 期, 9—19 页。
3. 朱海之, 1964: 黄土的显微结构及埋藏土壤中的光性方位粘土。中国第四纪研究, 第 4 卷 1 期, 72—76 页。
4. 安芷生等, 1979: 淀积铁质粘粒胶膜及其成因意义。科学通报, 第 8 期, 356—359 页。
5. 安芷生等, 1980: 离石黄土中的第五层古土壤及其古气候的意义。土壤学报, 第 17 卷 1 期, 1—9 页。
6. 王振权、冯秀美, 1958: 西北地区褐色型耕种土壤及古土壤的基本性质的初步研究。土壤专报, 第 32 号。
7. 朱显谟, 1984: 原始土壤形成过程。中国科学, 第 10 期, 922 页。
8. E. N. 帕尔费诺娃等, 1964: 土壤学中的矿物学研究(中译本)。pp. 110—114 页, 科学出版社。
9. 唐克丽, 1981: 武功黄土沉积中埋藏古土壤的微形态及其发生学。科学通报, 第 3 期, 177—199 页。
10. 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤(第一版), 科学出版社。
11. 朱显谟, 祝一志, 1992: 试论中国黄土高原土壤与环境。土壤学报, 第 29 卷 4 期, 351—357 页。

12. Duchaufour P., 1982: *Pedology*. Geogry, Allen and Unwin, p.84.
13. Buol S. W. et al., 1980: *Soil Genesis and Classification*. The Iowa Saate University Press, p.98.
14. Jenuy H., 1941: *Factors of Soil Formation*. New York and London, pp.26.

CLAY MOVEMENT IN PALEOSOLS OF THE LOESS PLATEAU IN CHINA

Zhu Xianmo and Cheng Wenli

(*Northwest Institute of Water and Soil Conservation, Academia Sinica and
Ministry of Water Conservancy, 712100*)

Summary

There are several Paleosols which contain a high proportion of clay with the leaching out of lime carbonates in loss profile. The origins of the clays have caused great argument.

Researchers who maintain the point of view of residual argillification have thought that the clays in the paleosols are dominated by illites with lime-magnesia saturation and have very weak hydrophility and mechanical eluviation.

But, the phenomema of clay partial translocation and accumulation do exist in either recent soils or paleosols. For instance, the shining cutan outside the ped or optical orientation clay particles and whorl-shaped aggregates in the thin section investigations or both of them were observed.

This paper, besides the affirmation to the existence of above phenomena, indicates that the causes of the phenomena are different from those of phenimena which result from the mechanical eluviation and illuviation in common soil profile in that they were caused by intensive biological effect, especially by bio decay and mineralization and mineral feedback and "biosynthesis" (biogenetic) of the clay minerals in two to one crystalline structure on the surface of mollisols in which herbage had grown lushly at the early stage of the soil formation, and "micro-ice wedge like" actions particually the later even leads to the formation of star-clove of garlic-shaped soil masses with smooth and shining surface within the transitional areas between claying hirizons and C horizons.

Key words Freezing accumulation of gaseous water within soil, Altermate freezing and thawing, "Micro-ice wedge like" proe-ice crystal