

黄土与红褐色古土壤中粘土胶膜的形成及其意义

中国科学院院士 朱显谟

(中科院、水利部水土保持研究所, 杨陵 (712100/ 中国科学院西安分院, 西安 710061)

教授 赵景波

(陕西师范大学, 西安 710054)

摘要: 本文根据腐化植物体、黄土、古土壤等样品的 X2射线衍射和化学分析等资料, 初步认识到植物腐化能够形成多种粘土矿物, 腐化过程越长, 形成的粘土矿物越多; 生物成因的粘土矿物主要以粘粒胶膜的形式存在, 在镜下表现的是光性定向粘土; 黄土中古土壤粘粒胶膜与生物胶膜类似, 应属同一成因; 生物粘粒胶膜形成在一定的植被和气候条件下, 它可以作为重建古环境的追踪线索。

关键词: 古土壤 粘土胶膜 生物粘化

人们对黄土中的古土壤进行了许多研究, 但过去的研究是以淋溶粘化为出发点的, 对生物粘化注意不够。近年来, 古土壤研究取得了重要进展, 认识到了黄土形成过程是土壤化过程, 黄土是冷干气候条件下发育的古土壤^[1], 而且是在沉积、成壤、成岩同时同地的条件下形成的^[2]。这些新的研究结果大大加深了人们对黄土本质的认识, 对提高黄土研究水平有重要作用。本文在以往研究的基础上, 根据 X2射线衍射和化学分析等资料, 对黄土与红褐色古土壤粘粒胶膜成分、形成原因和发生条件、意义进行探讨。

一、腐化木质和古土壤粘粒胶膜的矿物组成

古土壤粘化过程和特征要根据其粘土矿物的种类及其分布进行分析判断。关于黄土、古土壤粘土矿物的类型, 前人已作过一些研究, 并鉴别出伊利石、蒙脱石和高岭石的存在^[3]。过去对粘土矿物形成或粘化过程的解释是成壤过程中原生矿物分解形成粘土矿物^[3]。事实上, 粘土矿物的形成还有过去未注意到的生物起源的形成作用。为了查明黄土与古土壤中粘土矿物的成因, 本次研究采取了多种样品进行粘土矿物的分析、对比, 这些样品包括黄土与古土壤土体样品、黄土与古土壤中的粘粒胶膜、根孔与虫穴充填物、植物分解残留物、腐化的木质、寄生菌、草本泥碳及蚯蚓代谢物等。

通过近 80 块样品的 X2射线衍射可知, 不同样品中粘土矿物种类与含量差别较大。概括起来, 大致有以下几个特点。(1) 未分解或未腐化或轻腐化的木质及其外表皮部分一般不含粘土矿物(表 1), 但可含少量石英、长石等矿物。这表明植物在生长过程中一般不具产生粘土矿物的作用。(2) 明显腐化的树根及外皮层均含有较多的粘土矿物, 其中包括伊利石、蒙脱石、绿泥石和高岭石(表 1, 图 1, D, 图 2, A), 且主根木质部比皮层粘土矿物含量多。这指示植物体的腐化过程具有产生或形成粘土矿物的重要作用。(3) 完全腐化的植物体中粘土矿物含量达 96% 左右(表 1, 图 1, B), 并以蒙脱石占绝对优势。这告诉我们腐化过程越长, 形成的粘土矿物越多。如将腐化或矿化树根与黄土进行比较, 可知前者石英含量比后者大大减少, 粘土矿物的含量大大增加(图 2, A, B)。(4) 核桃树上寄生菌也含少量粘土矿物, 其成份为伊利石(图 1, A)。由此判断, 低等菌类在生活过程中具有形成粘土矿物的作用。这又恰与原始成壤过程中的现象相吻合^[4]。(5) 根穴填土、虫穴填土、鼠穴填土及土中蚯蚓粪的粘土矿物与土体中的粘土矿物成份、含量类似。用稻草或麦秆培养的蚯蚓, 其粪便中的粘土矿物很少, 但磁化率很高(图 2, C)。这些样品的分析结果表明生物在生活过程中一般不具产生粘土矿物的作用。但在稻草或麦秆培养的蚯蚓粪便中, 其石英的含量(图 2, C)比矿化树根(图 2, A)含量明显高, 而与土体石英含量(图 2, B)接近, 这表明在蚯蚓活动过程中具有

选择吸收和富聚硅的作用。(6) 红褐色古土壤土体中的粘土矿物为伊利石和绿泥石, 一般不见蒙脱石和高岭石出现。这反映出粘土矿物的形成渐进入稳定阶段。(7) 黄土与红褐色古土壤中胶膜的粘土矿物种类多、数量多, 不仅有伊利石、蒙脱石存在, 而且还有较多的高岭石存在(图 1, C)。黑色胶膜与红色胶膜的差别是前者含有菱铁矿或褐铁矿, 两者在粘土矿物种类和数量上基本相同。这反映粘化过程中具有形成粘土矿物的重要作用, 这一认识对研究土壤形成过程和土壤性征非常重要。结合野外观察可知, 植物强烈腐解后的粘土矿物聚集体便可构成一种粘粒胶膜。因此, 粘粒胶膜的成因并不限于过去论述的矿物分解、淀

积形成, 而生物的腐化络合形成也应当是一个重要方面。胶膜的形成是植物腐化后的粘土矿物转变的结果, 或者是腐化最后阶段的产物。

上述资料表明, 植物体腐化过程和菌类生活过程能够形成粘土矿物, 其成分主要是蒙脱石和伊利石, 也有少量高岭石等成分; 在腐化过程很长的情况下, 植物体可完全变成粘土矿物, 其存在的形式是粘粒胶膜; 黄土与古土壤中的粘粒胶膜与植物腐解粘粒胶膜组成类似, 表明本文第一作者提出的黄土中古土壤粘粒胶膜的生物成因说^[5]是合理的。

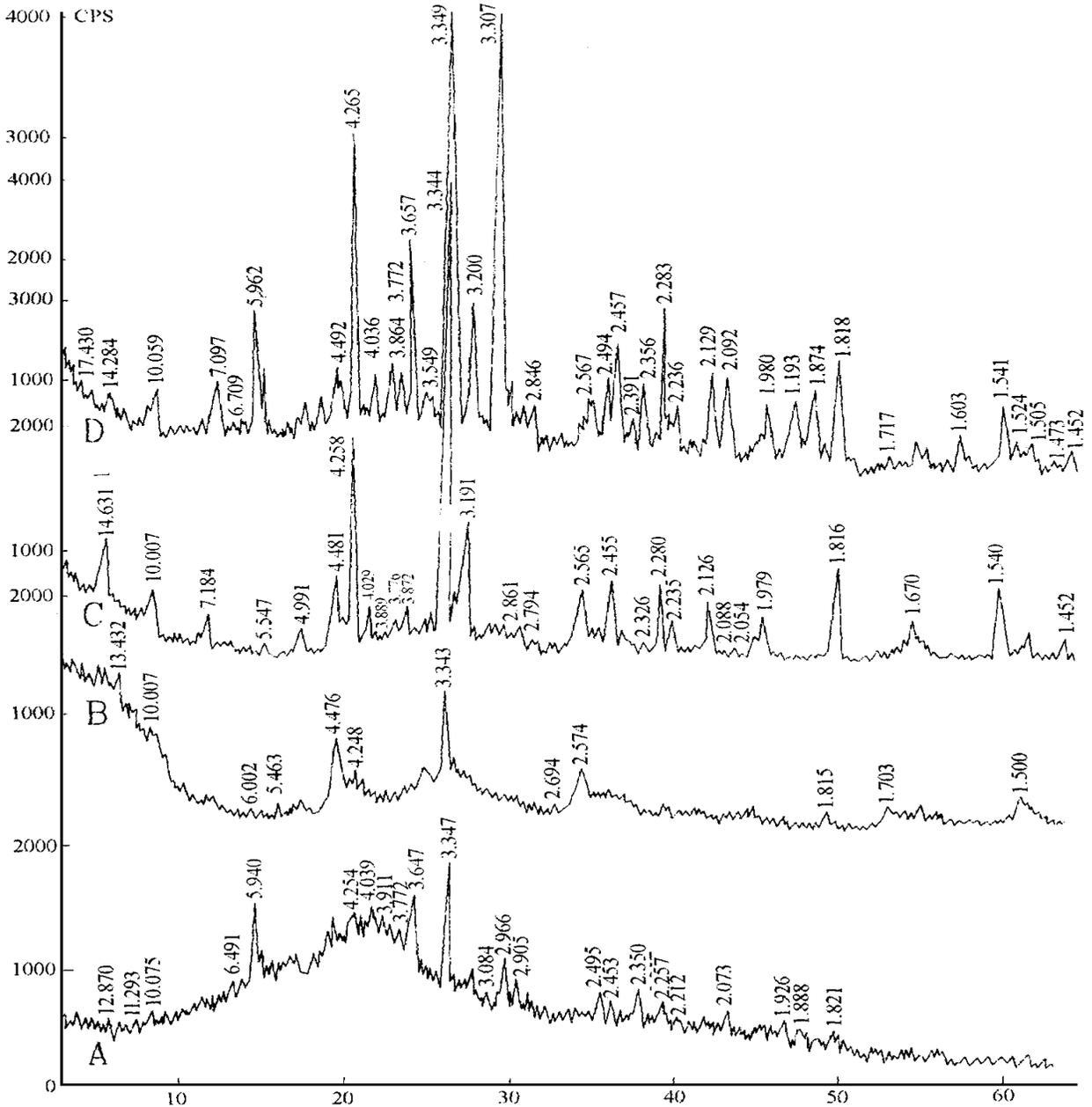


图 1 粘土化生物体与土壤胶膜 X2射线衍射曲线

Fig. 1 X2ray diffraction curves of clay grouting plants and soil clay film

- A、西安核桃树寄生菌衍射曲线; B、沈阳矿化植物根衍射曲线; C、西安东郊黄土中第 5 层红褐色古土壤粘粒胶膜衍射曲线;
- D、西安腐化植物根衍射曲线

表 1 不同样品中矿物含量 (%)
Table 1 Mineral content in different samples

样号	种类		方解石 白云石	角闪石	伊利石	绿泥石	蒙脱石	高岭石	褐铁矿 黄铁矿		水草 酸钙	非晶质	备注
	石英	长石											
922025A	1	)	)	)	)	)	)	)	)	)	34	65	枯树木质
922025B	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	10	90	轻腐化木质
922032A	17	10	15	)	15	5	)	)	3	)	5	30	腐化树根皮层
922032B	25	20	20	)	10	10	)	)	)	)	5	10	腐化根内木质
922032C	15	10	20	)	15	12	30	5	)	)	20		腐化主根木质
922026	3	)	)	)	3	)	)	)	)	)	10	84	核桃树寄生菌
SY 21	4	)	)	)	)	)	96	)	)	)	)	)	全腐化植物体
92- 024d	35	25	)	2	25	10	)	)	3	)	)	)	腐根填土
922028	27	15	20	2	15	15	)	)	2	)	)	)	虫穴填土
922029	44	15	15	2	10	12	)	)	)	)	)	)	鼠穴填土
922030	15	10	10	1	5	5	2	)	2	)	50%	)	根穴填土
92- 024A	47	22			20	10			3				黄土土体
S5N1	40	38			10	10			2				刘家坡 S ₅ 土体
S4N1	48	40			5	7							刘家坡 S ₄ 土体
SB21	28	20	4	2	10		18	4				14	刘家坡 S ₁ 黑色胶膜
SB21	25	8			7		28	9	2			8	刘家坡 S ₅ 黑色胶膜
SR222	23	15	2		7		26	7				18	刘家坡 S ₂ 红色胶膜
SR321	30	15			10		22	8				15	刘家坡 S ₃ 粘色胶膜
SR421	25	8			9		28	8				22	刘家坡 S ₄ 红色胶膜
SR522	21	7			17		31	8				16	刘家坡 S ₅ 红色胶膜

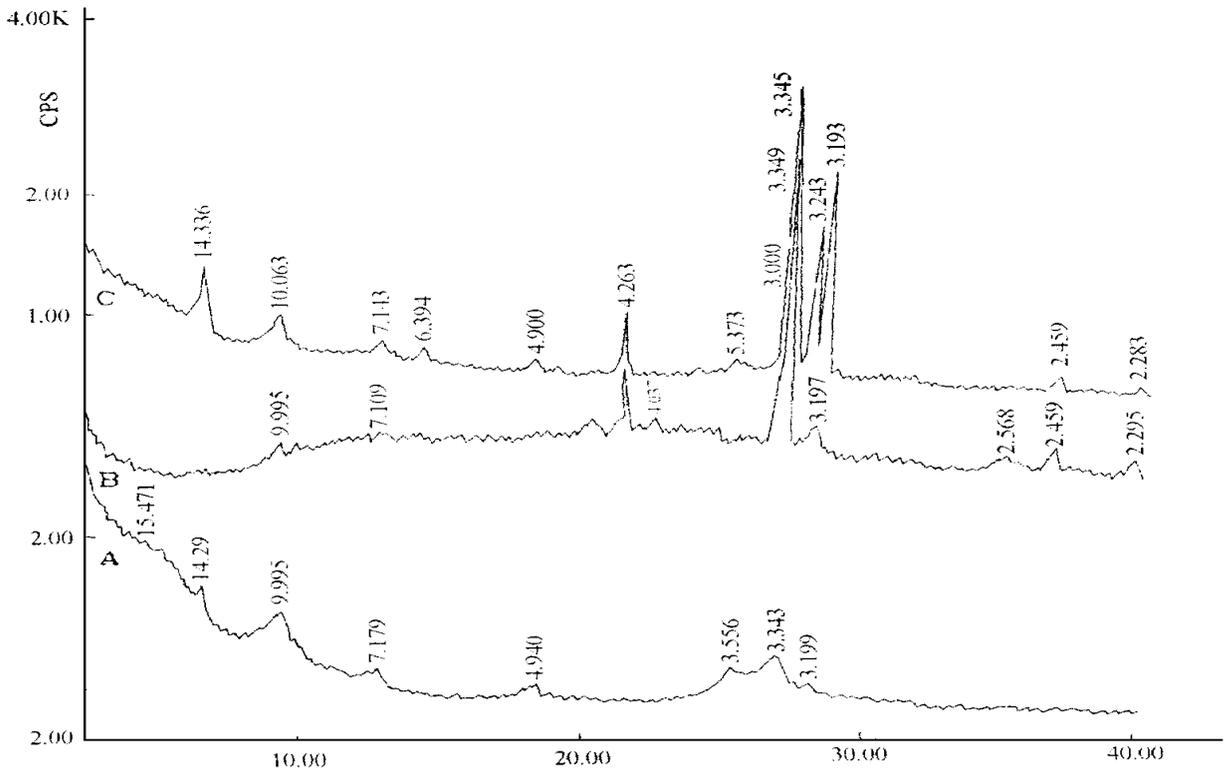


图 2 黄土、粘化树根和蚯蚓粪的 X2射线衍射曲线

Fig. 2 X2ray diffraction curves of clay grouting root of tree and earthworm excrement

A、黄土中矿化树根衍射曲线；B、稻草地龙沙（稻草培养的蚯蚓粪）衍射曲线；C、根际黄土衍射曲线

二、生物粘粒胶膜的化学组成

粘粒胶膜样品难以采取, 所以过去对粘粒胶膜化学成分的研究很少。我们通过在西安附近的大量工作, 用刀片切削采集到了古土壤中的生物粘粒胶膜样品, 并进行了化学分析。结果表明, 胶膜与土体化学成分差异很大, 而与我国南方黄褐土中铁质结核成份^[6]类似(表2)。胶膜中SiO₂平均含量为49.16%, 比土体中SiO₂含量低15.16%;

表2 土壤化学成分(%)

Table 2 Chemical composition of soils

地点	层位	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	R ₂ O ₃ / SiO ₂	
							R ₂ O ₃	SiO ₂
西安刘家坡	第1层古土壤土体	64.83	6.24	15.50	0.08	0.06		2.98
	第2层古土壤土体	65.72	5.92	15.13	0.07	0.18		2.62
	第3层古土壤土体	66.27	6.53	15.61	0.10	0.02		3.01
	第4层古土壤土体	65.16	6.44	15.52	0.11	0.00		2.96
	第5层古土壤土体	64.98	6.71	15.85	0.10	0.00		2.88
	第1层古土壤胶膜	53.26	9.10	17.43	0.12	0.04		2.01
	第2层古土壤胶膜	52.17	8.34	18.12	0.12	0.00		1.97
	第3层古土壤胶膜	48.26	12.83	22.39	0.14	0.00		1.37
	第4层古土壤胶膜	49.38	12.35	21.87	0.13	0.00		1.44
	第5层古土壤胶膜	46.17	14.83	23.16	0.14	0.00		1.22
	第6层黄土中胶膜	48.28	14.60	21.87	0.13	0.00		1.32
南京 ^[6]	黄褐土铁锰结核	)	10.60	16.73))))
	黄褐土铁锰结核	)	10.47	18.82))))

三、生物胶膜形成条件和对土壤环境的指示作用

生物胶膜是植物体腐化形成的, 那么腐化过程需要什么样的条件呢? 下面我们将根据黄土与红褐色古土壤中胶膜发育的时空变化对这一问题进行探讨。

为确定生物胶膜在不同层位土壤中的变化, 我们在西安东郊第1~7层黄土和古土壤中采集了20余块样品进行鉴定。结果表明, 粘粒胶膜就是镜下观察到的光性定向粘土, 但在不同层位的黄土和古土壤中光性定向粘土的数量、特点是有明显差别的(表3)。其中第5、4、3层古土壤中的粘粒胶膜发育最好, 其次是第1、2、6层古土壤, 发育最弱的是第7层古土壤(表3)。西安附近的黄土层中也含有粘粒胶膜, 但其数量较红色古土壤中明显减少(多小于5%), 并主要以流胶状形式存在, 块状少见。化学分析、CaCO₃测定资料^[7, 8, 9]表明, 生物粘粒胶膜发育较好的土层是受成壤作用较强的土层, 粘粒胶膜发育差的土层是受成壤作用较弱的土层。洛川地区的研究结果与西安地区类似。洛川第1~7层红褐色古土壤均有粘粒胶膜的发育, 发育好的层位也是成壤作用较强的层位。洛川黄土中粘粒胶膜发育差, 仅在第4层黄土中偶尔见到^[8]。在兰州地区, 黄土中粘粒胶膜少见, 仅

Fe₂O₃平均含量为12.13%, 比土体平均含量高5.16%; Al₂O₃平均含量为20.18%, 比土体中高5.13%, MnO₂的含量也有所增加, 胶膜SiO₂/R₂O₃比土体平均小11.33%。从化学成分可见, 与土体相比生物粘粒胶膜具脱硅和富铁、铝的特征。但从生物体腐解/活质0反馈, 相互络合并不断形成不同SiO₂/R₂O₃比的粘土矿物来看, 它确实完全显示了生物成壤过程与风化淋溶过程恰恰相反的实质^[10]。这就很可能与传统所称/风化产物0倒转现象相似。

在发育好的古土壤中少量存在^[9]。这些差异应是不同时代、不同地区生物繁生强度存在差异的结果, 这是我们今后研究古气候时空变化的又一追踪线索。

表3 西安东郊古土壤粘粒胶膜存在形式与含量

Table 3 Existing form and content of clay film in the paleosols near the east suburb of Xi'an

层位	粘粒胶膜存在形式与含量(按面积统计)
S ₁	主要为流胶状, 少数为块状、斑点状, 含量多为5%~10%
S ₂	主要为流胶状、斑点状, 含量为5%左右
S ₃	多为流胶状、块状, 少数斑点状, 含量多为10%~15%
S ₄	主要为块状、流胶状, 含量为5%~15%, 最高达20%左右
S ₅	多为流胶状、块状, 含量为10%~20%, 最高可达30%左右
S ₆	主要为流胶状, 偶见块状, 含量10%左右
S ₇	主要为斑点状, 少量流胶状, 含量1%~2%

注: S₁代表第1层古土壤, 其余类推。

根据上述生物粘粒胶膜的分布和发育特点, 结合已有黄土与古土壤生物、气候研究的成果, 我们可以确定生物粘粒胶膜发育的条件。西安附近第1~6层古土壤主要形成于落叶阔叶林条件下, 代表湿润、半湿润的气候^[9]。西安地区的黄土及第6层古土壤主要发育在半干旱的森林草原条件

下^[9]。洛川第1~7层古土壤主要发育在森林草原植被和半干旱气候条件下,黄土主要发育在草原植被和干旱气候条件下^[8]。兰州地区的黄土主要发育在草原和荒漠草原植被和干旱气候条件下^[9]。分析资料显示,不论是关中地区的古土壤还是洛川地区的古土壤,均具有钙镁饱和的碱性反应^[5]。根据这些研究结果,我们初步认识到黄土高原的生物粘土胶膜形成于碱性介质中,在半湿润和半干旱气候条件下均可形成,但在降水较多的条件下发育更好,干旱气候条件下不利于生物粘土胶膜的形成。较湿润区植被繁盛,根系发育,氧化分解慢,利于矿化,这应是比干旱区粘粒胶膜发育好的原因。

四、结论与讨论

综上所述,我们初步认识到生物腐化和活质的反馈具有形成粘土矿物的作用,腐化过程越长,形成的粘土矿物越多。现代植物腐化产生的粘土矿物主要是伊利石和绿泥石,也有少量的蒙脱石和高岭石。这表明植物腐化可以产生粘土矿物。在地质时期形成的生物粘土胶膜中,以蒙脱石为主,高岭石和伊利石次之,表明生物腐化的最后阶段是趋于形成蒙脱石。古土壤生物胶膜化学成分显示:在整个过程中,生物腐解释放出来的硅、铁、铝等成岩矿质氧化物在络合成矿过程中具有先合成 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 为 1B1 的粘土矿物,后又不断/复硅0 渐向 2B1 型粘土矿物演变并稳定下来的倾向。

据黄土和古土壤生物粘土胶膜的发育强弱和分布可知,生物胶膜的形成需要一定的气候条件。就黄土区而论,森林、森林草原植被和半湿润、半干旱气候均利于粘土胶膜的形成,干旱气候不利于生物粘土胶膜形成。森林和森林草原条件下利于生物粘土胶膜形成的主要原因是这一地区的较湿润,根系发达,植物根系分解缓慢,有利于粘土化。草原条件下胶膜发育差的主要原因是气候干旱,植被发育差,根系

发育弱,植物分解快,不利于粘土化。因此,我们不能认为较湿润区的胶膜是木本植物产生的。黄土高原气候干旱,草本植物发育,很可能是草本植物对粘粒胶膜的形成起主要作用。关于这一点,还有待进一步研究。黄土高原的粘土胶膜普遍形成于碱性、氧化条件下,但也有少量含菱铁矿的胶膜形成于弱碱性还原条件下。

生物粘土胶膜形成于一定的生物气候条件下,并随生物、气候条件的变化而变化。生物粘土胶膜形成条件的进一步研究将为我们重建黄土高原古环境提供又一追踪线索。

以往多认为黄土中古土壤的粘粒胶膜是淋溶淀积形成的,代表酸性环境和森林土壤。胶膜的生物粘化或生物成因的认识对完善土壤学理论和认识黄土高原古土壤与环境演变是很有意义的。当然,本文的研究是初步的,还有待更多资料来证明粘土胶膜的生物成因。

参考文献

- [1] 赵景波. 第四纪冷干气候条件下发育的古土壤. 土壤通报, 1991, 22(4): 245~ 248.
- [2] 朱显谟, 祝一志. 试论中国黄土高原土壤与环境. 土壤学报, 1992, 23(4): 351~ 357.
- [3] 郑洪汉. 中国黄土粘土矿物及其在剖面中的变化趋势. 第四纪研究, 1985, 6(1): 158~ 165.
- [4] 朱显谟. 论原始土壤的形成过程. 中国科学, 1983, (10): 97~ 104.
- [5] 朱显谟, 程文礼. 中国黄土高原古土壤粘粒胶膜移动问题探讨. 土壤学报, 1994, 35(4): 371~ 375.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤, 科学出版社, 1980.
- [7] 赵景波. 关中原黄土中古土壤 CaCO_3 淀积深度研究. 科学通报, 1991, 36(18): 1397~ 1400.
- [8] 刘东生等. 黄土与环境. 科学出版社, 1985.
- [9] 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境. 陕西科学技术出版社, 1994.
- [10] 朱显谟. 中国土壤科学复兴之道. 水土保持研究, 1994, 3(1): 1~ 10.

The Formation and Significance of Clay Film in Loess and Red2paleosols

Member of the CAS ZHU Xianmo

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

Professor ZHAO Jingbo

(Shanxi Teachers University, Xi'an 710054)

Abstract: According to the materials in X2ray diffraction of degenerated plants, loess and paleosols, we know that the degenerating process of plant can form various clay mineral, and the longer the degenerating process is, the more the clay mineral formed is. The clay mineral formed by plants exists mainly in the form of clay film, and it is optically oriented clay film observed by microscope. The clay film in loess and paleosols is similar to that of plant formation, it should be formed by plant degeneration too. The clay film produced by plants

is formed under certain vegetation and climate, it can be used as a clue in reconstructing paleoenvironment

Keywords: paleosols clay film living things clay grouting.

作者简介



朱显谟(ZHU Xianmo, 1915, 12~) 男, 汉族, 上海崇明人。1940年国立中央大学农业化学系毕业。1949年后, 历任中国科学院南京土壤研究所副研究员、研究员兼土壤地理研究室副主任, 中国科学院水土保持研究所所长、名誉所长、博士生导师, 中国科学院院士。中国土壤学会理事会顾问, 陕西土壤学会名誉理事长。主要成就是对江西土壤作了系统研究, 提出了红壤并非是现代气候的论断; 提出了治理黄土高原的28字方略, 受到了党和国家的高度重视; 认识到了黄土是在沉积、成壤、成岩近于同时地条件下形成的; 得出了东北有棕壤而无灰壤的新认识, 并认为灰化层不是淋溶层而是硅粉淀积层; 建议黄土区栗钙土应分为黑垆土和楼土, 由此另拟了土壤和土壤侵蚀分类系统, 发表论文60余篇, 出版专著4部。



赵景波(ZHAO Jingbo, 1953, 10~) 男, 汉族, 山东省滕州市人。1982年毕业于西北大学研究生毕业, 先后获硕士、博士学位。现任陕西师范大学教授, 兼地质矿产部岩溶动力学开放实验室学术委员会委员、客座研究员、中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会委员。取得多项重要科研成果, 建立了 CaCO_3 等化学成分的淀积深度理论, 提出了黄土形成与演变的新模式, 认识到了黄土主要是通过干旱区三种不同的土壤化过程形成的, 确定了黄土分属于灰钙土、栗钙土、棕钙土等类型; 首次确定了黄土中存在的风化壳和硅质风化壳新类型, 将黄土高原的发展与侵蚀历史进行了分期, 提出了黄土高原理论上的侵蚀期。已获地质矿产部科技成果二、三等奖和霍英东教育基金会青年教师三等奖。发表论文50余篇, 出版专著两部。

(责任编辑: 房俊民)