

黄土高原全新世土壤锆石颗粒表面 超微结构及其发生环境*

贺秀斌 唐克丽

(中国科学院 水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)
水利部

摘要 本文借助于扫描电子显微镜,对黄土高原三个全新世黄土古土壤剖面中锆石颗粒表面超微结构进行观察,将表面超微结构按外观形态划分为六个种类,并对各类特征发生频数进行定量统计分析。研究表明锆石颗粒有丰富的表面超微结构反映沉积前后的风化作用性质和程度;进而讨论了黄土高原塬土和黑垆土及其盖层的发生环境。

关键词 锆石,土壤,全新世,扫描电镜

中图分类号 S152.4

自扫描电子显微镜问世以来,很多学者利用扫描电子显微镜观察土壤微形态特征,研究成土作用的过程与环境^[1-3],还有一些学者利用扫描电子显微镜下一定的矿物表面结构特征来反映沉积物迁移与沉积过程的介质环境及沉积后风化成土与成岩作用的性质和强度,但是目前的工作主要局限在石英颗粒上,利用黄土中石英表面特征,或探讨黄土的物质来源和成因^[4,5];或估计沉积后的风化作用性质与强度^[5]。但是由于石英颗粒多被硅质杂质包裹,以及其表面特征与颗粒大小存在着复杂的关系^[5]等问题,也有一些学者持谨慎或怀疑态度。仅有个别研究涉及到利用重矿物颗粒表面结构来探讨沉积物的来源。重矿物中的锆石($ZrSiO_4$)为岛状硅酸盐矿物,纯净的锆石化学性质稳定(不溶于酸),硬度高(7.5—8),含有杂质(如 Hf, Th, V, Ca, Al, Mg, Mn)时硬度大大降低^[5],一般认为抗风化能力较强^[6];但也有人认为锆石和 Zr 一样具有活性而易遭受风化^[7]。Tejankella 等研究表明,锆石表面特征对风化作用性质和强度有一定的反映^[8]。基于以上研究,作者对黄土高原全新世土壤中的锆石颗粒在扫描电子显微镜下作了初步研究。主要有以下几个内容:(1)在扫描电子显微镜下,对黄土高原全新世不同地带古土壤及盖层中锆石颗粒表面超微结构的技术描述;(2)在扫描电子显微镜下,锆石颗粒表面超微结构的成因分类;并统计各类特征在各层次的发生频数;(3)讨论特征发生频率变化与全新世环境演化的关系;(4)对各剖面的盖层和乌兰黄土中锆石颗粒表面超微结构进行对比,讨论了黄土高原塬土和黑垆土及其盖层的发生环境。

* 本研究为国家自然科学基金项目(批准号:49471039)部分成果。

收稿日期:1996-09-21;收到修改稿日期:1997-12-04

1 材料与方法

1.1 采样地点与剖面特征

全新世土壤在黄土高原有着广泛的分布,并存在着地带性分异。中国科学院南京土壤研究所和水土保持研究所等曾先后对其发生类型,形成演化和剖面特征等方面作了大量的工作,将其划分为特有的耕作土壤——垆土和黑垆土^[9,10]。第四纪地质研究表明全新世土壤剖面的底界为马兰黄土(Lo)顶部,中部发育有古土壤层,顶部主要为新近黄土沉积形成的盖层(Lx)^[11,12]。本文从黄土高原北部到南部,依次在神木,洛川,武功典型全新世黄土剖面中,按发生层次采样。各剖面采集7—9个样(如表1)。样品风干过1mm筛。

表1 不同地区全新世土壤剖面特征及其发育年龄

Table 1 Characteristics and dating of Holocene soil profiles in different regions

剖面地点 Location	地貌类型 Geomorphie type	发生层次 Horizon	采样深度(cm) Depth	年龄(¹⁴ C) Age(¹⁴ C)	全碳(%) Total C(%)
神木	黄土丘陵 分水岭	Lx	0—45	—	0.495
		A	45—65	—	0.813
		Bt	65—235	4210±80	0.543
		Btc	235—270	—	0.286
		C	270—300	—	0.260
		Lo	300—400	—	0.094
洛川	黄土塬	Lx	0—40	—	0.911
		A	40—52	2760±140 ⁽¹⁾	0.752
		Bt	52—115	8100±300 ⁽¹⁾	0.956
		Btc	115—150	—	0.463
		C(Lo)	150—230	—	0.437
武功	关中平原	Lx	0—50	—	1.65
		A	50—80	—	0.987
		Bt	80—200	3430±80	0.756
		Btc	200—280	—	0.657
		C(Lo)	280—320	—	0.489

(1) 刘东生。《黄土与环境》。1985

1.2 方法

取过筛样40—50g,经盐酸和双氧水处理,加10ml偏磷酸钠,超声分散,按stock公式提取0.25—0.01mm颗粒。称取0.25—0.01mm颗粒2g,以三溴甲烷(比重:2.89)作重液进行重矿物分离。在双目显微镜下统计挑选锆石矿物15粒,将挑选好的颗粒在带有X射线能谱仪(EDAX-DV9900)的飞利浦S-570扫描电子显微镜下观察、记录各特征发生的频数。

2 结果

2.1 锆石颗粒表面超微结构的种类及其意义

锆石颗粒在脱离母岩后,受外界环境影响,必然在颗粒上留下“印记”。从成因性质上可分为化学风化特征和物理风化特征两类;从成因时间上可分为沉积前和沉积后两类。本文把镜下外观特征分为以下六类:

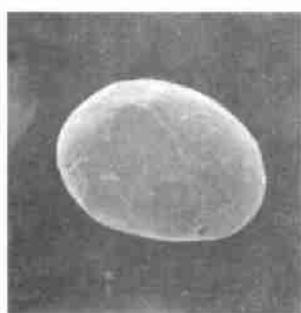
I 弧形槽沟。锆石解理不完全,很脆弱,易破裂形成贝壳状断口,起伏高,但含杂质高时,硬度较石英还低,在水力,风力等机械搬运过程中,或在冰川环境下,常形成月牙形状,或弧形槽沟,边缘多磨蚀钝化(如照片 I)。

II 毛发状裂隙。具有该特征颗粒的外形都较圆浑,裂缝不规则,裂缝边缘棱角锐利,颗粒表面光滑,可能与沉积后受冰冻风化有关,或搬运过程的碰撞,挤压有关(如照片 II)。



照片I 弧形槽沟,神木,现代风沉沙,
×2000

Photo 1 Curve-shaped groove, from
modern sand of Shenmu section,
×2000



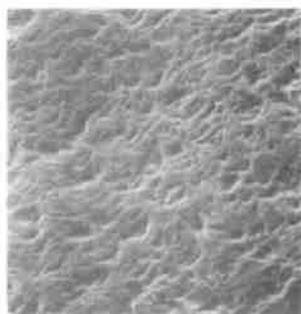
照片II 毛发状裂隙,洛川, Lx,
×500

Photo 2 Hairline cracks, from Lx
horizon of Luochuan section,
×500



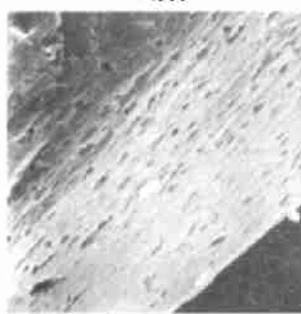
照片III 次棱角状,神木, Lx,
×1000

Photo 3 Subdued edges, from Lx
horizon of Shenmu section,
×1000



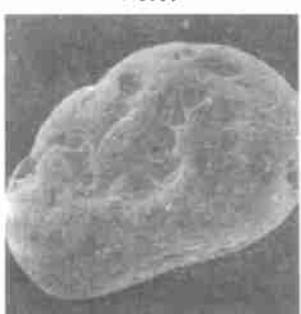
照片IV 似翻翘薄片,神木, Bt,
×1700

Photo 4 Conchoidal fracture with
precipitation surface, from Bt
horizon of Shenmu section,
×1700



照片V 鱼鳞状蚀坑,武功, A,
×2000

Photo 5 Etch pits with scaled
surface, from A horizon of
Wugong section, ×2000



照片VI 蚀洞,神木, A, ×250
Photo 6 Etch pits and holes,
from A horizon of Shenmu
section, ×250

III 次棱角状。矿物晶形轮廓清晰,棱角钝化,表面发育有半平行或弧形台阶,钝化的棱角下可见小蚀坑,说明沉积前经历过一定的物理风化作用,沉积后有一定的化学风化发生(如照片 III)。

IV 似翻翘薄片。这种结构是一种机械化学结构,与石英的翻翘薄片相似^[5],特指发生在断面上的结构特征,在贝壳状或块状断面上,往往形成一些小碎片和细小裂隙,在一定环境下,有利于化学作用的进行,也有利于其它粘粒的淀积。形成一种特殊的机械化学结构(如照片 IV)。

V 鱼鳞状蚀坑。是一种化学风化结构,化学蚀坑布满晶面,如鱼鳞状。在湿热的化学风化环境下,晶体错位或线状空缺等不稳定地带,及杂质,裂变径迹等都可能成为蚀坑的起始点。蚀坑的大小,取向也各异(如照片 V)。

VI 蚀洞。是一种较强的化学风化结构,与蚀坑相似,是一种较大的蚀坑(直径大于 20 μm),洞周围常常有弧形台阶(如照片 VI)。

这六种颗粒表面超微结构中, I, II 能更多反映沉积前,特别是搬运过程的物理风化作用; V, VI 则与沉积后的化学作用,或成土作用有关; III, IV 属过渡类型,机械化学结构类型,颗粒受到一定的化学风化作用,但在表面结构的形成中机械作用仍占主导地位。

2.2 表面结构特征的定量统计及其形成环境的讨论

从表 2 看,主要趋势是:(1)机械作用特征(I, II)发生频数明显大于化学风化作用特征

表2 锆石表面特征发生频数统计表

Table 2 Statistic data of occurrence frequencies of zircon microstructures in diffent profiles and horizons

剖面地点	发生层次	机械作用		机械化学作用		化学作用	
		Physical weathering		Physical and chemical weathering		Chemical weathering	
Location	Horizon	I	II	III	IV	V	VI ¹⁾
神木	Lx	12	6	12	6	0	2
	A	13	2	12	5	3	8
	Bt	12	3	11	10	4	7
	Btc	7	5	12	11	3	0
	C	10	3	13	10	2	1
	Lo	9	10	13	3	1	0
洛川	Lx	9	9	10	6	2	1
	A	8	5	10	5	5	2
	Bt	4	9	11	7	6	3
	Btc	10	5	5	1	3	2
	C(Lo)	13	9	8	5	2	0
武功	Lx	6	11	9	1	5	1
	A	3	3	10	10	6	2
	Bt	4	8	5	8	8	6
	Btc	4	9	10	5	5	0
	C(Lo)	8	9	10	4	1	0

1) I-弧形槽沟; II-毛发状裂隙; III-次棱角状; IV-似翻翘薄片; V-鱼鳞状蚀坑; VI-蚀洞

(V, VI)发生频数,这与锆石有较好的化学稳定性相一致;(2)在空间上,北部是特征 I, III, IV 频数较高,南部特征 V 较高,而特征 II 在空间上变化不大,这种南北变化可能与沉积物来源和搬运距离及环境条件的空间变化有关;(3)在剖面上(时间上)除特征 II 和特征 VI 外,都有较大的变化,全新世中期反映化学作用特征的特征 V 分别在三个剖面中达到峰值,与全新世中期湿热环境相对应;(4)特征 III, V 无论在空间上或时间上(剖面上)都有较规律的变化趋势。特征 III 的显著特征是机械作用占主导地位的次棱角状特征;特征 V 是化学作用占主导地位的鱼鳞状蚀坑。说明锆石颗粒表面超微结构对环境风化作用的性质和强度有较好的敏感性。

2.3 盖层成因的讨论

关于黄土高原塬土与黑垆土的发生学及盖层成因问题,有人认为是现代土壤,盖层主要是由于人类活动(如施加粪土)形成的^[10];有人认为塬土与黑垆土是一种古土壤,盖层是大约近 3000 年的黄土沉夹层^[11-13];也有人认为盖层是成土期的一个间断中形成的黄土夹层,划分为 SoLL1^[14]。本文将盖层的锆石颗粒表面超微结构与马兰黄土的锆石颗粒表面超微结构进行比较,如图 1,发现二者有较大的相关性。相关系数分别为:神木, $r = 0.8399$;洛川, $r = 0.8446$;武功, $r = 0.7275$ 。并且化学作用特征不显著,表明盖层与马兰黄土的形成环境和物质来源相似,是干冷条件下的黄土沉积物。在武功剖面中,相关系数相对较低,化学作用特征(特征 V)显著,可能与人为活动有关。

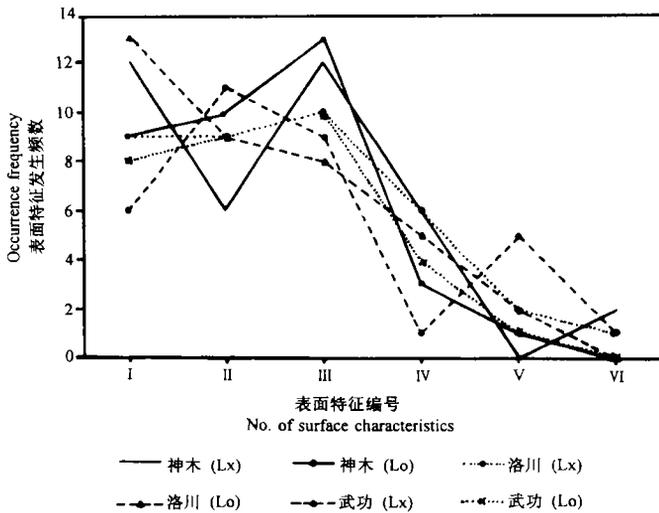


图1 锆石颗粒表面超微结构在马兰黄土和盖层中的相关性比较
 Fig.1 Comparison of surface ultramicrostructures of zircons between Malan loess and the covering layers of Holocene soils

3 结论

1. 锆石颗粒表面超微结构在同一剖面各层之间和同一层不同剖面之间都出现有规律的差异,表明锆石有丰富的颗粒表面超微结构来反映风化作用的性质与程度,或成壤作

用的性质与强度。

2. 晶形较好, 棱角度高的锆石与磨圆度较好的锆石颗粒同时出现, 表明沉积物来源的多样性。

3. 从锆石颗粒表面超微结构特征来看, 全新世土壤盖层的物质来源主要是新近黄土沉积物, 人为施加粪土在个别地方可能成为主要物质来源。盖层下部的土壤剖面为 3000 年前形成的古土壤剖面, 其母质为全新世早期的黄土沉积物, 古土壤剖面形成于全新世中期气候湿润期, 锆石表面的机械风化和化学风化特征表明黄土沉积作用和成壤作用强度都在空间上受风力场和气候带分布的影响。

参 考 文 献

1. 龚子同. 面向二十一世纪的土壤地理学. 土壤学进展, 1995, (1): 1—6
2. 曹升康. 土壤微形态学的历史、进展和将来. 土壤专报, 1989, (43): 1—14
3. 顾新运. 土壤超微形态在土壤研究中的应用. 土壤专报, 1989, (43): 37—56
4. 王永炎. 黄土与第四纪地质. 陕西: 陕西人民出版社, 1982. 78—92
5. 方小敏, 史正涛, 沈明智. 试从兰州地区黄土石英砂表面特征探讨黄土物质来源, 成因及环境变迁. 中国西部第四纪冰川与环境. 北京: 科学出版社, 1991. 138—147
6. 潘兆楹. 结晶学及矿物学. 北京: 地质出版社, 1985. 109—110
7. Carroll D. Weatherability of zircon. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1953, 23: 106—116
8. Tejanella M S, Fitzpatrick R W, Chittleborough D J. Scanning electron microscope study of zircons and rutiles from a podzol chronosequence at Cooloola, Queensland, Australia, *CATENA*, 1991, 18: 11—30
9. 中国科学院南京土壤研究所主编. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1978. 280—294
10. 朱显谟主编. 黄土高原土壤与农业. 北京: 农业出版社, 1990. 82—93
11. 郑洪汉. 黄河中游全新世黄土. 地球化学, 1984, (3): 23—31
12. Tang K L. Micromorphology of Paleosols and Paleo-climate in the Quaternary, China. Abstracts for INQUAXIII, 1991, 329
13. 季耿善. 黑垆土的形成环境. 土壤学报, 1992, (2): 113—123
14. 安芷生, 吴锡浩, 王品先等. 末次间冰期以来中国古季风气候与环境变迁. 见: 黄土—第四纪地质—全球变化, 第三集. 北京: 科学出版社, 1992, 14—30

ULTRAMICROSTRUCTURES OF ZIRCON SURFACE OF HOLOCENE SOILS ON THE LOESS PLATEAU AND ITS ENVIRONMENTS

He Xiu-bin Tang Ke-li

(Institute of soil and water conservation, CAS, Yangling Shaanxi 712100)

Summary

Twenty-four samples from three Holocene loess profiles on Loess Plateau were selected for zircon surface investigation. Under the scanning electron microscope, six classes of surface ultramicrotextures were identified. Semi-quantitative method was used to calculate the frequencies of occurrence of six classes of surface microstructures. Based on the characteristics of the surface features, the formation of the six-class features could be interpreted by chemical weathering, physical weathering and combined weathering respectively. The types of zircon surface features and their occurrence frequencies could be used as an index to evaluate the extent and nature of weathering and the pedogenetic changes. Furthermore, pedogenic environments are discussed.

Key words Holocene soil, Scanning electron microscope, Zircon