

扶风古土壤中的铁和锰*

胡光荣 姜永清

(中国科学院西北水土保持研究所)

黄土中埋藏古土壤,以其鲜明的不同颜色,粘化现象、碳酸盐淋溶淀积等与黄土母质相区别。朱显谟曾把它分为三个分化明显的发生层段^[1]:质地比较粘重的粘化层,富含碳酸盐新生体的钙积层和比较纯质均匀的母质层。虽然黄土的化学成份基本相似,但在区域分布上,不同时期沉积的黄土,不同的发生层段中也有某些具规律性的变化^[2]。土壤中氧化铁和氧化锰含量的变化^[2-4],它表征土壤的发育过程和程度,反映生物气候等因素的作用,近年来尤为人们所注视。一些学者曾指出用活性铁和游离铁等的含量,作为划分土壤层次,土壤分类和推测土壤年龄的指标^[5-7]。而黄土的古土壤中,见有光亮的褐色胶膜^[1, 8],铁、铝等相对积累^[1, 9],以及铁铝有移动现象^[8, 10],说明古土壤的形成条件和发育程度与今不相一致。本文以扶风剖面为对象,主要讨论其铁、锰等化学组份的分布变化趋势。

一、材料和分析方法

该剖面位于陕西省扶风县新集村,系渭河河谷超河漫滩三级阶地。整个剖面厚约40米。除上部的晚更新世马兰黄土外,下伏的中更新世离石黄土上部(Q₂³),包括五条大的古土壤层段。沿剖面采集土样(Q₂³)共20层,其中古土壤13层,用常规分析方法^[11],测定了每层土体和小于1(μ)微米的胶体的矿质组份,并与洛川剖面的资料作比较,采用过60目筛孔的风干土1.00克,用Jackson法^[7],加连二亚硫酸钠—柠檬酸钠,在80℃水溶上浸提两次^[6],测定清液中的铁、锰,分别称为游离铁和游离锰。另外称取1.00克土样,用Tamm法^[2],加入酸性草酸铵浸提,测定清液中的铁、锰,分别叫做活性铁和活性锰。按下式计算活化度(%)和游离度(%)。

$$\text{铁(或锰)的活化度} = \frac{\text{活性铁(或锰)的含量}\%}{\text{游离铁(或锰)的含量}\%} \times 100\%$$

$$\text{铁(或锰)的游离度} = \frac{\text{游离铁(或锰)的含量}\%}{\text{土体总铁(或锰)的含量}\%} \times 100\%$$

二、结果讨论

(一)土体和胶体的铁、锰等矿质组分含量的变化(图1和表1) 在整个剖面小于1微米的胶体中,Si、Al、Fe含量的变化不大,变异系数都低于6%。古土壤层的硅铝铁比与褐土(2.4—2.5)的相近是2.50—2.82,均值为2.68。土体部分,除钙外,变化略大于胶体部分,但变异系数也未超过12%。同洛川黄土相比,除含钙量低外,Si、Al、Fe的含量都高于洛川剖面,变异也较大,且硅铝铁比低。整个剖面中氧化钙的变异系数最大79%。

古土壤中Si、Al、Fe的含量比黄土有所增高,朱显谟等把之归结为碳酸盐淋溶淀积变化

* 本工作曾得到唐克丽副研究员,张淑光同志的指导帮助,金兆森作多元回归分析,特此致谢。

表1 扶风黄土剖面的矿质全量*

地区	样品	烧失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	硅铝比	硅铁比	硅铝铁比
扶风	胶体	—	1.03 47.90	5.60 22.30	2.29 11.90	—	—	—	—	5.99 3.66	2.67 10.70	4.94 2.74
	土体	35.26 6.60	5.98 61.86	11.08 13.79	9.31 5.66	79.05 4.33	11.66 2.08	9.19 0.0955	10.06 0.095	7.83 7.68	4.28 29.17	6.64 6.07
洛川	土体	—	2.1 58.17	3.8 11.97	7.2 3.85	15.5 7.29	5.0 2.02	—	—	8.80	30.49	6.48

* 表内数据为：变异系数%
平均百分含量

洛川剖面资料引自文启忠等，见“地球化学”1981年第4期382页，未折算成Fe₂O₃的FeO含量是1.10%，变异系数11.20%。

过大而造成的[1, 9]。无疑是很有道理的。但是，黄土与古土壤在颜色上的明显差别就无法解释了。而且唐克丽通过微形态等方面的研究[1, 8]，发现古土壤剖面中铁和铝有移动现象。可见从总量上的变化来反映成土过程中的微观变化，有一定的局限性，因此研究成土过程中的活性物质是非常必要的。

(二)游离铁、锰和活性铁、锰含量 黄土中暗红色条带是古土壤最触目的标志。一般认为土壤呈红色或棕色与铁有关，而暗褐色与有机质和含锰有关。已有资料证实古土壤含有机质较高。从上述看出，土体和胶体的铁、锰总量虽然略高于母质层，但与母质层相比它们的变异系数低。

土体游离铁、锰和活性铁、锰的变化及活化度和游离度见图2和表2。

结果表明，无论游离铁、锰，还是活性铁、锰以及活化度和游离度，在暗红色的古土壤条带中都高于黄棕色的黄土母质层本身所固有的含量。五个高含量的峰值点恰好是五个古土壤条带，而黄土层恰好是含量低的谷值点。在整个剖面中各平均值是：活性铁0.20%，游离铁1.76%，各占总铁的3.52%和31.10%；活性锰0.0556%，游离锰0.0678%，各占总锰的60.30%和73.54%。游离锰和活性锰的比例大，游离铁和活性铁的含量高。它们的变异系数大(20—30%)，极值范围宽，相对变化比总铁、锰大2—3倍。古土壤总铁的平均值相对地比黄土母质高17.3%，而游离铁高46.27%，活性铁高85.23%；总锰仅高10.15%，而游离锰高35.70%，活性锰高61.71%。不难看出，这两大层段中的游离和活性的铁、锰之间的差异正如其颜色的差异那样明显。Arieh Singer曾引证资料说明相当高量的游离氧化铁使得棕壤呈红色，并指出其中铁、锰的行为类同[13]，并且随土壤年龄的增加而下降[5]。在母质层中，随整个剖面深度的增加，活性铁有所下降，而游离和活性锰有升高的趋势。在古土壤层中，游离和活性锰随深度增加而

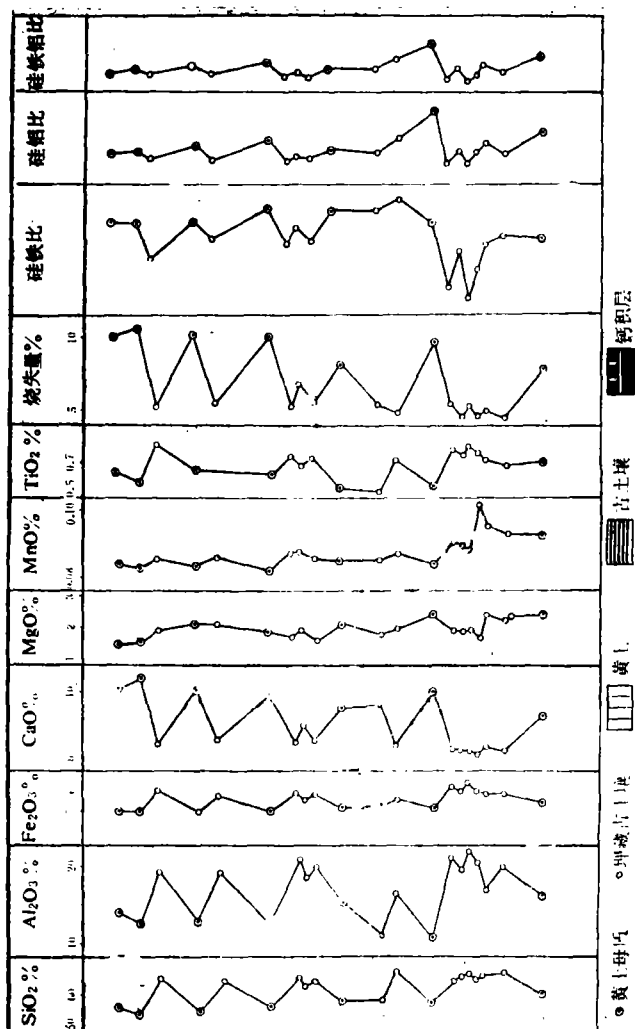


图1 扶风剖面的矿质组份与硅铁铝率

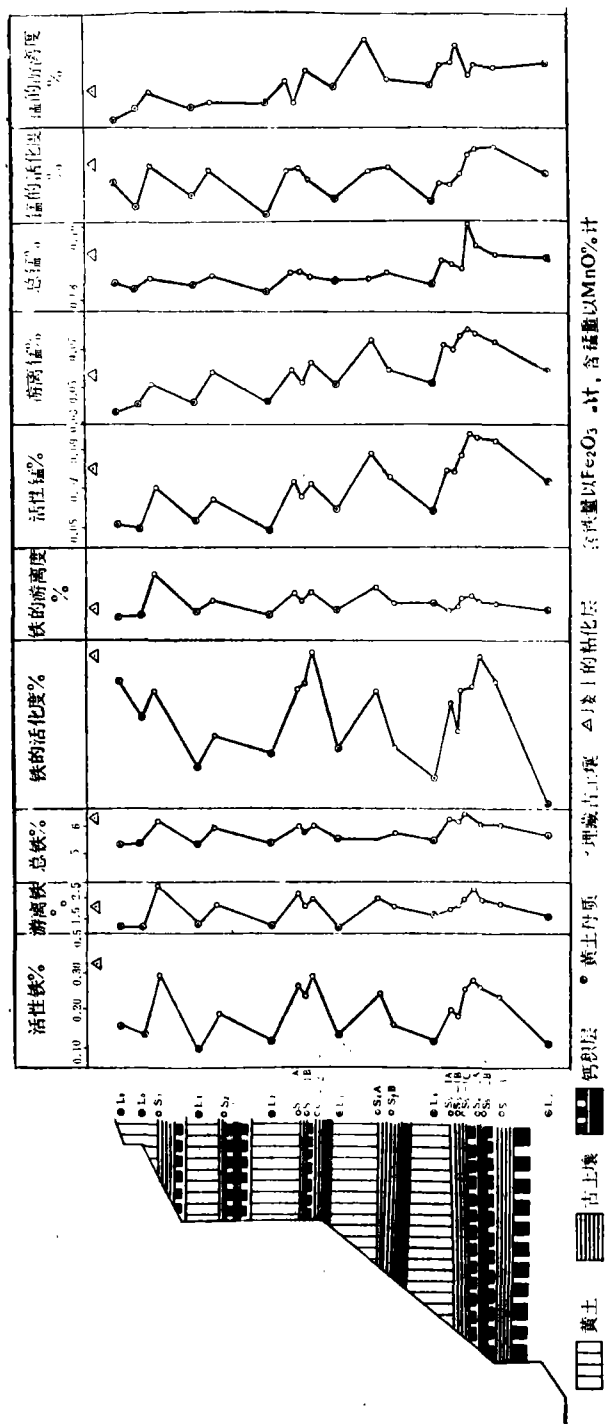


图2 扶风剖面中不同形态的铁、锰含量变化

表2 扶风剖面中铁、锰含量的变异

样 品		铁 ($\text{Fe}_2\text{O}_3\%$)					锰 ($\text{MnO}\%$)				
		总 量	活性的	游离的	活化度	游离度	总 量	活性的	游离的	活化度	游离度
平均含量	整个剖面	5.66	0.1992	1.76	11.32	31.09	0.0922	0.0556	0.0678	82.00	73.53
	古土壤	5.97	0.2382	1.96	12.15	32.83	0.0955	0.0642	0.0745	83.75	78.01
	黄土母质	5.09	0.1286	1.34	9.59	26.32	0.0867	0.0397	0.0549	72.31	63.32
变化范围 (极小 极大)	整个剖面	4.85	0.1070	1.26	7.28	25.40	0.0813	0.0309	0.0465	61.55	54.32
		6.59	0.2973	2.40	14.66	48.29	0.1180	0.0826	0.0889	95.34	96.42
	古土壤	5.12	0.1619	1.73	9.15	27.07	0.0867	0.0490	0.0565	77.50	62.43
		6.59	0.2973	2.40	14.66	48.29	0.1180	0.0829	0.0899	95.34	96.42
	黄土母质	4.85	0.1070	1.26	7.28	25.40	0.0813	0.0309	0.0465	61.55	54.32
		5.58	0.1638	1.60	13.00	31.07	0.0984	0.0569	0.0660	86.21	71.13
平均值的	整个剖面	9.31	31.93	18.28	18.85	16.99	9.19	27.79	19.70	11.50	14.78
变异系数	古土壤	6.01	17.28	9.28	12.09	15.21	8.79	17.37	14.34	6.29	12.34
	黄土母质	4.49	14.73	5.76	20.42	6.39	5.97	20.08	12.37	10.76	9.27
古土壤层与黄土母质的平均相对差%		15.91	59.76	37.53	23.55	22.01	9.66	47.16	30.29	14.66	20.79

明显升高。特别是第一、五层古土壤的游离和活性部分含量最高,说明其风化成壤作用进行最强烈,发育最好。这与有关资料推论,这两层古土壤的成壤作用最完全是相吻合的。用陕北的黄绵土与之相比,其各类铁、锰都低。用关中壤土的粘化层——马兰黄土中古土壤层相比,游离氧化铁的量同含量最低的第二古土壤条带接近,为1.81%,但它的活性铁含量最高为0.332%。同陕南的黄棕壤相比,游离铁、锰和活性铁、锰接近于或稍高于第一、五层古土壤条带。这说明古土壤形成时的生物气候条件以及对土壤发育的影响是接近于黄棕壤地区的。

(三)活性铁、锰和游离铁、锰与其他因子的相关分析 分析结果表明,各种形态的铁之间及其与总铁量之间,以及活性锰与总锰量及其他形态的锰之间的相关关系是显著的($\alpha \leq 0.10$,下同),甚至是很显著的($\alpha \leq 0.05$,下同),这不仅表明所选取的方法是有用的,而且也说明了各种形态的化合物之间的相互关系。更值得注意的是游离铁、活性铁、锰都与pH值的高低和有机质含量之间存在有显著相关关系,这更进一步说明了其游离和活性部分是成土过程的产物。这与无定形铁和有机质含量呈正相关,它反映某些成土环境对土壤性质的影响;游离氧化铁的含量与年雨量呈良好的正相关^[3,4]是相符的。在温暖湿润的条件下,岩石矿物不断发生分解, CaCO_3 淋溶, pH下降,生物容易生长繁衍,土壤发育。同时,黄土颗粒中的铁、锰被活化释放,以至老化、结晶、增加游离部分。气温越高,雨量越充沛, CaCO_3 淋溶越甚,生物活动也越旺盛,被活化的铁、锰就越多,就会有更多的游离铁、锰粘附在土粒上,外观上的暗红褐色就很明显,但是它们的含量不可能在矿质全量分析中准确地反映出来。

(四)古土壤胶膜的铁、锰含量 将第四条带(S_{4A})和第五条带(S_{5A})古土壤中的块状、棱块状结构面上的亮褐色胶膜刮下,分析结果见表3。资料表明,胶膜中活性的和游离的铁、锰含量及总量都比非胶膜部分的土壤高,特别是锰增加的相对比例更大,进一步证明前述论点。

三、结 论

本文分析了扶风黄土剖面中矿质组分和不同形态的铁、锰变化趋势。土体和胶体的矿质组分中,除Ca以外,变异系数均低于11%,古土壤层的硅铝铁比2.68,与褐土相近。用Jac-

表3 胶膜中的铁、锰含量

编 号	样 品	总 量 (%)				铁(Fe ₂ O ₃ %)		锰(MnO%)		
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	活性的	游离的	活性的	游离的
11-1	S ₅₋₃ 胶 膜	64.61	6.72	0.64	2.58	0.2288	0.319	1.85	0.1933	0.1955
	S ₅₋₃ 非胶膜	64.73	6.19	0.84	2.58	0.0958	0.220	1.84	0.0713	0.0775
	S ₅₋₃ 全土壤	66.34	6.02	1.12	2.35	0.102	0.232	1.82	0.0777	0.0815
	胶膜与全土的相对差(%)		11.05			76.66	31.79	7.10	85.81	82.31
7-1	S _{4A} 胶 膜	61.92	6.76	2.37	1.99	0.1382	0.2786	2.04	0.0991	0.0994
	S _{4A} 全土壤	59.17	5.12	7.13	2.55	0.0867	0.2476	2.01	0.0645	0.0712
	胶膜与全土的相对差(%)		11.76			45.80	11.78	1.81	42.39	33.06

kson和Tamm法测定了土壤的游离铁、锰和活性铁、锰,变异系数为20—30%,比总量的变化大得多。五个古土壤条带的游离铁平均值1.96%,活性铁0.24%,分别占总铁的32.83%和3.99%,比黄土母质平均值高46.27%和85.23%,游离锰平均值0.0745%,活性锰0.0642%,分别占总锰的78.01%和67.23%,比黄土母质层高35.70%和61.71%。活动锰和游离锰的比例大,说明它更容易变动;活性铁和游离铁的绝对量高,说明它对土壤呈色等特性的影响大。它们的消长变化规律恰好与黄土中古土壤系列组合迭覆、红黄颜色的交替相一致,含量高的峰值点正是红褐色的古土壤条带。随着风化成壤作用的进行,铁、锰不断活化释放、老化、结晶成为游离状态,染色土粒,也为进一步的转化移动提供来源和物质基础。相关分析表明,除游离锰外,活性铁、锰、游离铁都与pH和有机质含量之间存显著的相关关系,这表明它们是土壤形成过程的产物。因此,活性的和游离的铁、锰将是区别黄土母质层和古土壤层,反映土壤颜色,指示成壤作用的气候条件和土壤发育程度的重要指标。

发育得最好的第一、五层古土壤条带的游离铁、锰和活性铁、锰含量很高,接近于北亚热带的地带性土壤——黄棕壤,说明古气候条件是比较接近于黄棕壤地区的。

参考文献

- [1] 朱显谟,我国黄土性沉积物中的古土壤,中国第四纪研究,第1期,9—19页,1965。
- [2] 刘东生等,黄河中游的黄土,189—194页,科学出版社,1961。
- [3] 陈家坊,土壤胶体中的氧化物,土壤通报,第2期,44页,1981。
- [4] 熊毅等编著,土壤胶体,科学出版社,1983。
- [5] Alexander E.B., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38: 121, 1974.
- [6] McKeague J.A. and Day J.H. Can., J. of Soil Sci., 46: 13, 1966.
- [7] Mehra O.P. and Jackson M.L., 7th Natl. Conf. on clay: and clay minerals, 317—327, 1960.
- [8] 唐克丽、姜永清等,扶风黄土剖面中埋藏古土壤的微形态及其发生学的探讨,第三届全国第四纪学术会议论文集,科学出版社,1982。
- [9] 王振权等,西北地区褐色土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,1958。
- [10] 唐克丽,武功黄土沉积物中埋藏古土壤的微形态及其发生学,科学通报,第3期,177页,1981。
- [11] 南京土壤研究所,土壤理化分析,上海科技出版社,1978。
- [12] 许祖诒、陈家坊,土壤中无定形氧化铁的测定,土壤通报,第6期,32页,1980。
- [13] Singer A., J. of Soil Sci., 28: 125—135, 1977.

(上接第106页)评价方法更具有优越性和实用价值。

当然本工作还只是首次尝试,数学方法也还只是采用引用文献中的模式,有待在应用中找到更合适的处理方法。为了适应这一方法的应用,土壤侵蚀研究,也还应根据这一方法的要求加以推进。例如,各侵蚀因子强度的野外鉴别手段和指标,还应抓紧研究和解决。但可以肯定,通过实践,这一方法将应用更广并不断完善。