

试论中国黄土高原土壤与环境

朱显谟

祝一志

(中科院西北水土保持研究所, 712100) (中科院西安黄土与第四纪地质研究室, 710061)

摘 要

本文仅就黄土高原的土壤和古土壤与环境变迁的轨迹,也就是从黄土沉积和黄土层性质的特殊性入手来剖析一下土壤性征所能反映的生物气候信息,提供一鳞半爪的事实,以期对当前某些学术观点的对立,有所缓和。

主要内容:(1)特殊的沉降方式形成特殊的成土母质;(2)特殊的成土母质进行着特殊的成壤过程;(3)特殊的成壤过程形成特殊的土被结构;(4)特别强调土壤形成过程中的生物反馈作用以及提出对有机物的积累和腐解、矿化等方面的新见解,并用事实验证了黄土高原土壤中粘粒胶膜的出现既不是粘粒淋淀又不是土体原位风化而纯系植物尤其草木植物根系的原地腐解、矿化为简单的矿质后再在有利的条件下,经过一定的时段形成新的粘土矿物。

关键词 土 (earth)、土壤 (soil) 点棱接触支架式多孔结构,黄土高原,土壤发生过程,土被结构

中国黄土与环境论者颇多,1985年刘东生等著《黄土与环境》^[1]一书的问世,可说是集对我国黄土研究的大成。其中对于250万年以来黄土—古土壤序列所提供的全球气候变化的信息等论述尤为重要,必将成为更深入研究“黄土—古土壤”序列所反映的各种历史环境变化背景,以及与生物气候变化紧密联系的黄土沉积过程等的典范,重大推动力和新的方向。笔者今就黄土高原的土壤(含古土壤)与环境变迁的轨迹提供一鳞半爪,以资响应并求教于读者。

目前,研究者对于黄土地区土壤和古土壤的性征与气候、植被等关系比较注意,企图由此获得第四纪尤其近10万年以来的变化信息和趋向,以便为整治整个黄土高原和根治黄河寻求理论依据。作者今从黄土高原黄土沉积和黄土层性质的特殊性入手来剖析一下土壤性征所能反映的生物气候信息,也许有助于缓和某些学术观点的对立,加强协作,共同前进。

特殊的沉降方式形成特殊的成土母质

对当前生物繁生来说,黄土就是很好的基质,因为它疏松深厚,矿质养份丰富,无需什么成壤作用,只要风调雨顺,就会草茂粮丰。从地质过程来说,它仅仅是个土状沉积,充其量还是个比较均质的成土母质,尚无植物的繁生固定,随时都可被风吹水流所转运他方,那能长期扎根黄土高原。就是这类“是土壤非土壤”的物质长年累月地在黄河中游地区一带着陆堆积并又“交替”不断地成壤—成岩,形成厚达二百米上下的黄土—古土壤序列,深

受中外学者所注意。

陈明扬等(1985)论述现代尘暴与黄土堆积^[1]时,除分析尘暴过程、尘暴与各种尺度的大气运动外,并指出北起肯特山、唐努山,东界大兴安岭,南界昆仑山,西迄天山,帕米尔高原间 350—400 万平方公里间系黄土物质来源区,而黄河中游黄土高原是黄土主要堆积区,这样就为黄土高原确非黄土形成区和来源区进行了有关全球变化方面的明证。朱显谟等(1986)用图片集的方式^[2]显示了中国黄土从基岩风化、原始成壤等开始,经冰、水从高处搬运到低处堆积,再经过各种成壤和进一步风化,最后被风力搬运分选在黄河中游上空降落等全过程,除进一步论证中国黄土与戈壁、沙漠同源外,并强调黄土系历经不同成壤风化的物质,又几经搬动混合,再从干旱地区空运而来,由此对黄土层中赋存高岭石、蒙脱石等粘土矿物和各种主要矿物以及主要化学组成等在分布上的规律性和均一性等的背景,提供了新的信息。他又通过降尘和古土壤等土壤性征的对比研究^[3]。获得黄土层的特殊微结构是由特殊的沉降方式所决定。不管接触式或接触-基底式粒状(*granoidic fabric*)甚至镶嵌型斑状结构(*mosaic porphyric fabric*)等多系黄尘降落地面后“三种降落方式(自重、凝聚和雨淋)”^[3]融合(*fused together*)所成的黄土点稜接触支架结构^[4](即点稜接触支架式多孔结构),后者除来自“雨土”外,并也深受雨水下渗动力的影响。当时尚无生物的迅速繁生,那就无法保持其原先疏松多孔的状态。不论较纯净的黄土甚至粉沙层,还是古土壤层中,都能不时见到根孔残迹和细小黑色残渣以及碳酸盐晶体和其它细粒物质等。这样就更增加了我们对“真正”黄土的辨认难度。实质上我们还没有见到丝毫不受生物作用的黄土层,也没有见到不受降尘叠加的土壤发生层。“红三条”的存在,就具有最大的说服力。黄土作为成土母质来说,其特殊性还深深表现在持水性能比较一致方面(气包带深达 40m,田间持水量仅 20% 上下,而又导水率较高),这样非但在很大程度上缓和了地带性降水不同的效应和始终保持良好的通气状态,同时又增加了明确区分黄土-古土壤在时空差别上的困难。

特殊的成土母质进行着特殊的成壤过程

黄土-古土壤序列中成壤过程的特殊性除与常态的成壤过程相反,把本来比较均质疏松的土体分隔凝聚成较紧实的“结构”外,还表现在:(1)成壤过程与黄土土体风化作用不太协调;(2)地质大循环与生物小循环难舍难分(*touch to part from each other*);(3)土壤发生剖面不断上长和成壤强度向上下二方“尖灭”。植被根系的繁生、腐解、矿化为胶膜的形成提供了物质基础,但又为土体(*ped*)自然结构内部矿粒水化作用形成一定的阻力(防止水分进入结构内部)。

黄土母质上的成壤作用不仅和其本身的风化作用同时同地进行,更由于黄尘的不断沉积,我们就无法排斥在进行成壤作用的同时必然伴随着一定的成岩作用(*lithification*);这就使得整个黄土上的成壤过程更加复杂化了。这是整个成壤过程特殊性的根源,又是我们更好的摸清 250 万年以来黄土-古土壤系列所能提供的有关全球气候变化信息的关键。特殊的成壤过程使得第四纪以来的黄土沉积这个地质事件融成一体。倘若我们把它和传统的成壤过程相比,那么我们就很难找到一个土壤发生剖面,其成壤强度是呈“V”

型向下楔入的,所有古土壤发生剖面的成壤强度都是向上下两端“尖灭(事实上是减弱)”,这正如刘东生等(1985)指出“黄土沉积的特点是它的均一性,含有发育程度不一的多层埋藏土壤层,构成一个既在时间上连续、又在物质成份上和成壤强度上有差别的黄土—古土壤系列”,尽管一定岩体的风化和成壤作用要受制于生物气候条件,但是黄尘的不断沉积已经历史地改变了这种现象,或大大掩盖了它的面貌。还是刘东生等说得好:“黄土是在粉尘堆积速率大于成壤作用速率的条件下形成的;土壤发育时期,粉尘堆积并没有停止,只是粉尘堆积速率小于成壤速率”。由此不难假定,倘若成壤的生物气候条件不变或变动得非常缓慢,那么成壤作用的强弱将完全受制于降尘的堆积强度;而对某一厚度的土层来说,又将完全决定于成壤的相对时间。当然,这样一个“冒失”假定,还得有赖于每层黄土和古土壤层精确年代的对比较证。不过作者最近的研究又发现黄土—古土壤系列中呈现明显成壤作用,尤其有机-无机和矿质细粒的出现仅限于植物根系所能长期活动的范围以内,就在这样一个结构体外披有褐色胶膜 (clay skin) 的土层中,除 Bronger(1989)^[10]所指“原生方解石”淋失比较彻底和碎屑矿物、云母、长石等见有铁染和部分绿泥石化外,未见明显强烈的风化或解体,就是“絮凝降落”的大小“雨土”土粒还能在“海绵状组织 (spongy fabric)”的团聚体中清晰可见。这样成壤作用和风化作用不相协调的现象,是在一般成壤过程中很少见的。这种现象显然和黄土土体疏松多孔和田间持水量不高而又很快被着生植被吸收耗损等有关,同时也将被不断埋压在下面土层的成岩作用局限在容重的增大和碳酸盐的淀积。

特殊的成壤过程形成特殊的土被结构

不论从单个古土壤剖面或整个黄土—古土壤系列剖面(如洛川黑木沟、西安白鹿塬、横山狄青塬、杨陵新集等)来看,在形态上我们不易辨认 Ab 层的确切位置(有时出现缺失)。更由于后来被埋压,有机物的矿化,碳酸盐的淋溶淀积和成岩作用的不断加强,在外观上很易被认为不同质地的沉积层次,难怪已往有些学者常把它们作为水成沉积的佐证。自黄土沉积物中的古土壤再度正式提出以后虽然引起了一定的重视和开展古土壤学方面的研究,但还深受传统土壤学和把“黄土沉积与古土壤形成”在时间上割裂开来等影响,致使对古土壤土被结构—发生剖面的特殊性重视不够,造成在发生层段的机理上出现不够全面的地方。

作者曾对古土壤发生剖面的形态、质地、粘粒的化学组成和腐殖质含量、性质等与现代土壤作了一些对比^[5,6],初步发现除在渭北高原以北马兰黄土中出现类似黑垆土型埋藏土外,其它均与褐土型土壤的性质相近,并将它们的剖面构型暂定为 A—AB_(p)—B_{ca}—BC—C 层。A 层含腐殖质 1% 以下,具有明显的团粒状微结构,尚疏松,系疏松均质黄土深受生物活动、穿插、挤压所致;AB 层同 A 层腐殖质含量一般较低,色较红而密实,有时可呈棱柱状结构,但不论其结构体有多大,我们还是可以将它分割成细小的角粒状结构,实质上它是非毛管孔隙最发育,透水最快的速渗层 (p);B_{ca} 层系钙积层,土体与黄土层相似,但 CaCO₃ 含量可高达 16% 以上,有时呈大小不同的料姜状;BC 层系 B_{ca} 到 C 间过渡层;C 层为较纯的均质黄土。

当时作者对于古土壤系在“粉尘堆积速率小于成壤速率”时期形成的实质缺乏认识,因此明知 A 和 AB 层本属一体,但因其有机质含量较低,粘粒较多,结构较明显,误认为该处水热条件适度,土体原位粘化较强,应系粘化层,并因其下部的结构隙缝中也常出现次生 CaCO_3 的淀积,甚至见有表面凹凸不平、形状不一的长片状料姜石的长入,特名 AB 层而与 B_{cl} 层相区别。

朱海之、卢滨侍、安芷生、魏兰英等^[1-3,7-9]对古土壤与黄土进行了微结构和粘粒胶膜方面的研究以后,确认粘粒淋溶淀积现象,并根据物质的淋淀情况,将古土壤划分为棕褐土(S_2),淋溶褐土(S_1, S_4, S_7),碳酸盐褐土(S_2, S_{10}, S_{12}),黑垆土(S_6)等。Bronger 与祝一志等^[10]系统进行了洛川黑木沟剖面中各层古土壤和黄土百余块样品的理化分析和微形态分析观察以后也确认了粘粒淋淀的现象,依据碎屑,矿粒风化和粒级组成,化学特性以及微结构和孔隙情况等土壤发生学特征,将黄土母质划分为典型黄土(L_1, L_2, L_3, L_4 和 L_5 的上部, L_9, L_{13}, L_{15} 和 WL_1 的下部)和风化黄土,并将发生剖面划分为 Ah(Ap, AC), B, Bt, CK 等层段。并依据原生方解石的淋失情况和粘粒富聚等验证各土壤层的成壤强度和 环境(水热为主)变迁。

最近,程文礼由美国来信相告: 塿土(Loutu soil)粘化层、西峰黑垆土腐殖质层的细粉粒有绿泥石和蛭石的混层矿物。其中塿土粘化 I 层(上部)为规则混层,而在下部和西峰黑垆土则为不规则混层。经与 Dr. Weed 多次考证,确认绿泥石的存在,并在新集“红三条(S_2)”和塿土粘化土层中均有所谓 IHV(即在蛭石的间层有岛状水镁石片或铁片存在)的发现。

看来,黄土地区的古土壤和现代土壤在成壤过程中确有粘粒富聚,并形成程度不同的粘化层。目前争论的焦点虽在于粘粒是否发生淋淀,但其实质确出于对粘粒富聚的机理认识不够——也就是对于特殊的成壤过程缺乏理解,不过把特殊的土壤发生剖面结构和传统的构型并论罢了。

结 尾

限于篇幅、时间和作者的水平,有关这个问题只能讨论到此,并愿提出以下一些很粗浅的看法,求证于未来。

1. 黄土—古土壤系列的观点,尤其对于堆积成壤两个对立作用消长规律的研究,值得特别重视,因为它才是第四纪以来,黄土高原黄土堆积中生物气候变迁的唯一的轨迹,也是黄土物质来源区,甚至是全球变化的重大标志。也只有这样一个观点才能把所有这方面的研究工作导向客观实际。

2. 黄土地区黄土堆积过程中土壤形成过程实质的研究极待深入。从目前所掌握的不完全的资料来分析,作者不妨大胆地认为,它将是一个在半干旱(由半湿润—干旱)草原植被为主的条件下具有厚层特殊松软表层(mollic epipedon)的土被。最近林本海从研究黄土—古土壤系列稳定同位素后获得黄土高原过去的植被类型不论在黄土形成期还是在古土壤发育期都以草本植物为主的结论¹⁾,这一结论虽有时段上的局限,但对黄土高原

1) 林本海, 1990: 最近 130000 年西安洛川地区黄土稳定同位素研究, 硕士学位论文研究论文。

植被类型以草本植物占绝对优势的这一点是值得欣赏的。因为它与孢粉的分析的结果相一致。同时,也为古土壤粘化层的形成提供了可寻线索。因为它非但为上述特殊的成壤过程的实质提供了依据,同时也为以“均一性”为特点的黄土沉积转变为具有明显结构体而很不均质的土壤松软表层形成提供了可信动力。从古土壤由软土变成粘化层和速渗层的全过程来看,所谓古土壤尤其 S_3 形成时期特别温湿的说法证据尚不够确切。

3. 生物反馈的作用千万不能低估。一般认为松软表层的形成从土壤发生学的观点来看,主要在二价阳离子尤其 Ca^{2+} 的存在下大部来自植物根系和部分被土壤动物活动带入地下的有机残体的腐解。在自然条件下,在软土的形成中也见有 2:1 粘粒的形成。作者也曾观察到厚层稻草、麦秆经蚯蚓生活活动直接形成明显夹有硅粉的黑色细土层(其 SiO_2/R_2O_3 比值为 13.04)。看来软土化过程中,矿质的生物反馈更值得重视。西北水土保持研究所的灰分分析表明,黄土高原的植物(含作物)含有大量硅、铁、铝、钙、钾、锰等矿物元素,其中 SiO_2/R_2O_3 比值常在 30 上下,其中小麦秆最高为 288.75,黄菅草根为 39.08,山杏枝叶最低为 12.74。更值得注意的是,有些草本植物根中含铁量常高出地表部分数倍以上,这些矿质由有机残体中分解释放出并直接形成粘粒,其作用要比原生矿物风化成粘土要强烈得多,重要得多。这才是我们在上面所提到黑垆土和萎土以及新集“红三条”中的绿泥石、蛭石混层以及 IHV 出现的原因,也只有这样才能更好的解释古土壤层中在 A 层中原生方解石尚未完全淋失前就出现粘粒胶膜和光性粘粒以及螺旋状排列等异常现象。这也是我们以往无法从粘粒的矿质成份尤其 SiO_2/R_2O_3 来判别黄土—古土壤层的风化强度的根本原因。

4. 有机物的积累和腐解、矿化强度值得注意。有机物的积累和矿质元素的反馈以及新矿质粘粒的形成本是成壤过程的实质,但对疏松深厚透水性特强而又受降尘增厚使软土表层不断上长的黄土地区的土壤来说,也伴随着粘化层或速渗层的向上增长,待至降尘强度超越成壤强度而将原先软土层埋藏以后,那么有机物的积累必然逐渐减弱,直至基本消失,那时原先有机物的矿质化必然也因有机物来源的“断绝”而不再继续,这是黄土层中古土壤形成的基本过程,也是埋藏剖面必然向上下逐渐过渡的唯一原因。因此我们在分析黄土高原环境变迁时除重点考虑降尘环境、强度外,对在成壤过程中有机物腐殖化和矿化之间的强度消长也应给予适当的研究,因为二者对于气候尤其降水变迁的反映在时空上均有差异。

最后,顺便提一下,250 万年以来,平均降尘强度越来越有所加强,尤其近万年以来降尘强度更为惊人,这又是什么信息。

参 考 文 献

- [1] 刘东生等,1985: 黄土与环境,303—321,294—300页,科学出版社。
- [2] 朱显谟,1986: 中国黄土高原土地资源,陕西科技出版社。
- [3] 朱显谟,祝一志,1990: 中国降尘初探,第四纪研究,待刊。
- [4] 朱显谟,任美镔,1991: 中国黄土高原的形成过程与整治研究,中国人口、资源与环境,第1卷1期,21—28页。
- [5] 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。
- [6] 朱显谟,1965: 中国黄土性沉积物中的古土壤,中国第四纪研究,第4期,9—19页。
- [7] 朱海之,1965: 黄土的微结构及埋藏土中的光性方位粘粒,中国第四纪研究,第4期,62—76页。
- [8] 卢滨涛,安芷生,1974: 约70万年以来黄土自然环境变化系列探讨,科学通报,第24期,221—224页。

- [9] 安芷生, 魏兰英, 1979: 淀积铁质粘粒胶膜及其成因意义, 科学通报, 第 24 期, 365—359 页。
- [10] Bronger, A. 1989: Preliminary Report on the Joint Research Project Between the XLLQAS and the LSGIGVK Fed Rep of Germany.

A PRELIMINARY STUDY ON SOIL ON LOESS PLATEAU AND ENVIRONMENT

Zhu Xianmo

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica, 712100)

Zhu Yizhi

(Xian Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Academia Sinica, 710061)

Summary

This paper, might provide some, perhaps fragmental, knowledge about the relation of soil (including paleosol) on the loess plateau to environmental variations. The authors are trying to enter into the nature and speciality of the loess deposition and loess layer and then analyze the biogeo-climate information possibly contained in the soil characteristics. This approach might alleviate the antagonism and hence promote the cooperation between different scientific views. The authors suggests that:

(1) Particular settling modes led to particular mother material for the pedogenesis. It is just the prolonged falling accumulation and continuous alternative pedogenesis-lithification of this material of "parasol-pseudosoil" along the middle reach of the Yellow River that formed the loesspaleosol sequence as thick as 200 meters.

(2) Particular pedogenetic process is going on parent material particularly. The pedogenesis process in loesspaleosol sequence is rather unique. Except the compaction effect, due to the biotic (such as the root growth) separating then coagulating process on the mother material which is contrary to normal pedogenesis, the uniqueness is also expressed in: a) the pedogenesis is not in harmony with the loess-body weathering; b) the big cycle of geology is inseparable with the small biotic cycle; and c) the soil formation surface is going upwards but combining with the tape-out of the pedogenesis intensity both down- and up-wards. The growth, disintegration, and mineralization of the root system form the material base for the coagulation film, and on the other hand form a certain barrier to the hydrolysis of the mineral grains in the natural state of the loess-body.

(3) The particular soil cover structure is formed by the particular pedogenesis. After a comparison between the paleosol genetic profile and the modern soil in morphology, quality, composition of the clay granule and humus content, nature etc., it is discovered that except for the buried soil of Heilusol type in Malan loess to the north of the Weibei plateau, all the other paleosols are similar to the cinnamon soil; and the section pattern is temporarily described as A—AB_(p)—B_{C_a}—BC—C profile. The A horizon contains about 1% humus, and displays a distinct granular structure, and it was formed from loose homogeneous loess by the biotic activities of insecting and pushing-pressing; the AB horizon is similar to A, but the humus content is lower, deeper colored (more reddened), rather compact, sometimes has a

prismatic structure with the prisma being able to section into small, fine angular nutty-structure, and as a matter of fact it is the most permeable horizon (p) with noncapillary micropores and fissures intensively developed; Bca is the calcareous illuvial horizon similar to loess in general, but the CaCO_3 content is as high as more than 16% which sometimes occurs as loess-doll; the BC is a transitional horizon between Bca to C; and the C is the rather pure, homogeneous loess.

(4) Finally, the authors point out the following points as a conclusion and for future-testing. a) The sequence of loess-paleosol, especially its formation due to the contradictory, reciprocal processes-pedogenesis and dust accumulation, should be much emphasized because it is the only trace of the biotic and climatic changes or even the global changes left on loess plateau. It is only the concept of the loess-paleosol sequence that can lead us to the objective reality. b) The study on the essence of the pedogenesis in the loess accumulation background should go urgently into deeper. c) The biotic feedback should never be underestimated. Because much mineral material (such as Si, Fe, Al, Ca, K, Mn etc.) is released after disintegration of the organic relics to directly form the clay fraction, which is much stronger and more important than the formation of the clay fraction through the weathering of the primary minerals. d) Attention should be paid to the accumulation, disintegration, humification and decomposition, and mineralization of the organic material. The essence of pedogenesis is the accumulation of the organic material, the feedback of the minerals, and the formation of new clay minerals.

Key words Soil, Loess plateau, Pedogenesis, Soil cover structure, Heilusoil