

文章编号: 1000-0550(2003)02-0198-07

黄土的本质与形成模式^①

赵景波

(陕西师范大学地理系 西安 710062)

(中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710075)

摘要 根据显微结构鉴定,有机质分析,颗粒分析, CaCO₃测定和野外观察、统计等资料,研究了黄土的本质和形成模式。资料表明,黄土具有土壤的各种结构,具有指示草原和森林草原土壤发生特征的 CaCO₃和 CaSO₄淀积成分,含有土壤的有机质;黄土的本质是土壤,是在相对冷干气候条件下发育的多种灰黄色狭义土壤,而且是在当时当地气候条件下处于稳定状态的发育成熟的古土壤;黄土形成模式是风尘经草原、森林草原和荒漠草原区的成壤作用形成土壤的模式。黄土高原是世界上土壤资源最深厚、最富集的地区,黄土的工程地质性质和水文地质性质在很大程度上取决于成壤作用的强弱。

关键词 黄土本质 黄土形成 弱成壤作用 草原型土壤 形成模式

作者简介 赵景波 1953年出生 博士 教授 博士生导师 自然地理学与第四纪地质学

中图分类号 P467 **文献标识码** A

前人对黄土形成过程和当时的环境进行了大量研究^[1-4],但过去是从沉积物的角度进行研究的,没有从土壤学的角度开展工作。过去一般认为,黄土中温湿条件下发育的红色土壤是古土壤,冷干条件下发育的黄土为风成沉积物^[1-4],这是以往没有从土壤学角度研究黄土的原因。虽然过去有的研究者也提出黄土是土壤^[1],但从以往所论黄土形成过程并不是成壤过程^[1]来看,过去并未真正认识到黄土的本质是土壤,未认识到黄土形成过程是土壤化过程。国外对黄土也进行了许多研究^[5,6],但同样是把黄土作为沉积物看待的。虽然人们可以根据不同的观点和不同的理论来研究黄土,但应当说能揭示黄土本质的观点和理论是研究黄土最适用的和最有效的观点和理论。只有这样,才不致于偏离对黄土本质的认识。黄土与气候变迁是我国第四纪研究中最具特色的内容,目前已走在了世界前列。然而在全球环境变化对比标准的研究中,我国黄土地层作为全球气候对比标准^[1]的研究却明显晚于深海氧同位素气候的研究^[7,8]。不过深海沉积不能指示土壤与资源的演变,所以在土壤演变特别是冷干条件下形成的土壤演变研究中我们应走在世界前列,作出我们的应有贡献。作者在 1991 年曾发表黄土是冷干气候条件下发育的古土壤一文^[9],但尚缺乏翔实充分的证据。本文在作者过去研究的基础上,根据多种方法对更大范围黄土的土壤特征进行了研究,以揭示黄土和黄土形

成的本质,探讨黄土形成的模式,促进相关问题的解决和水土资源的开发利用。

1 黄土中的土壤发生学特征

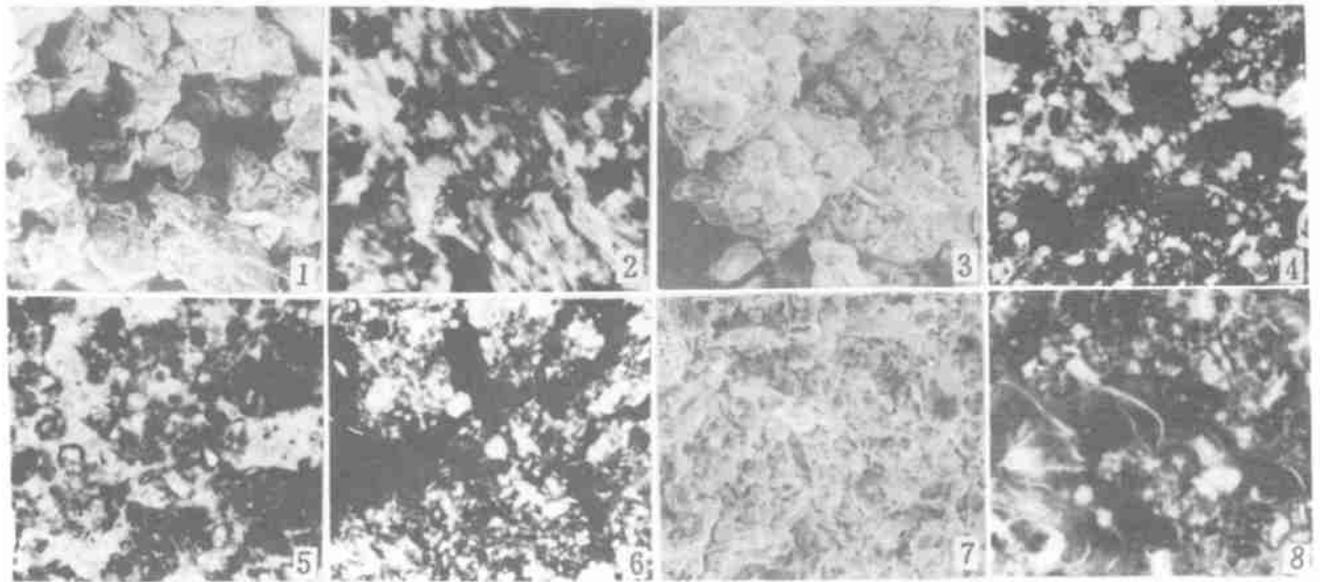
野外与室内研究显示,黄土中具有有机质、淀积成分和土壤结构等多种土壤发生学特征。

1.1 黄土层中的土壤结构和有机质

通过对陕西秦岭以北的西安、长安双竹村、武功尚家坡、蓝田白村、洛川坡头、长武鸭儿沟、富县城东和甘肃西峰市北、环县山城、临洮辛甸、平凉市北、天水丰山村、秦安兴国镇、正宁城西、永登鲍家窑、陇西文峰镇、定西葛家岔、静宁徐家坡、临夏北原、兰州晏家坪、靖远乌兰乡等剖面的观察可知,黄土具有土壤的宏观结构,这类结构在不同地区表现不同。在关中平原地区,黄土的宏观结构主要为发育较强的似棱柱状、棱块状、团块状和丰富的植物根孔、虫孔等。在黄土高原中部地区,黄土的土壤结构主要为团块状、团粒状和较多的根孔、虫孔(图 1,照片 4)。在黄土高原西北部,黄土的土壤结构主要为团粒结构和植物根孔、虫孔。在黄土高原区,从西北向东南,土壤结构的发育由弱到强,显示各地所受成壤作用存在差异。在整个黄土剖面中,各层均有土壤结构的显示,但从上部向下部土壤结构清晰度变低,这是土层的重力作用造成的。棱柱状结构是发育较好的土壤的特征^[10,11]。虽然黄土中不具典

① 教育部重大项目(2000ZDXM 770013, 01ZJDXM 770014), 国际地质对比计划项目(IGCP379, IGCP448), 国家自然科学基金项目(批准号: 40071006), 国土资源部九五重点项目(9501104)资助

收稿日期: 2001-08-28 收修改稿日期: 2002-05-28



1.靖远乌兰乡马兰黄土中的粒状未胶结结构(扫描电镜 $\times 600$); 2.兰州晏家平马兰黄土中的纤维状石膏($\times 120$);
3.4.分别为正宁城西和陇西文峰镇马兰黄土中的团粒结构(扫描电镜 $\times 300$)和植物根孔($\times 28$);
5.6.分别为临夏北原和天水丰山村马兰黄土中被有机质染黑的团粒结构($\times 30$)和团块结构($\times 28$);
7.正宁县城西马兰黄土中的新生粘土(扫描电镜, $\times 430$); 8.西安刘家坡第 3 层黄土中具流动构造的块状光性粘土胶膜($\times 150$)

图 1 黄土层中的土壤显微结构

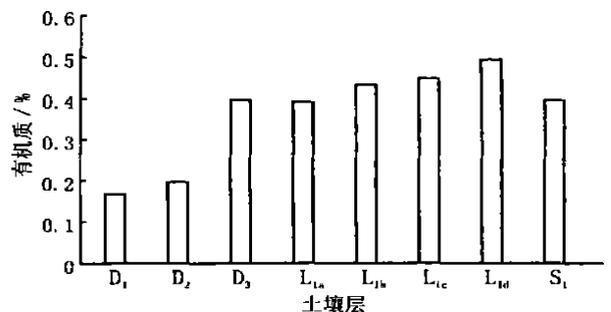
Fig. 1 Soil microstructure in loess layers

型棱状结构,但似棱柱状、棱块状结构的发育证实黄土高原东南部的黄土所受成壤作用是比较强的。黄土中既有宏观土壤结构,也必然会有微观土壤结构。通过电子显微镜和光学显微镜下的鉴定可知,在受成壤作用弱的黄土中粘土成分含量少,呈现粒状接触胶结或未胶结结构(图 1,照片 1);在成壤弱—中等的黄土中,粘粒含量增加,团粒与团块结构发育(图 1,照片 5,6);在成壤较强的黄土中,具有次生粘土质结构(图 1,照片 7)和光性粘土胶膜发育的粒状孔隙胶结结构(图 1,照片 8)。在上述微结构组成中,块状光性粘土胶膜是森林土壤中常见的微形态^[11,12],它指示成壤较强的黄土层甚至经历了森林条件下的成壤作用。当然,大多数黄土层中光性粘土胶膜不发育,指示它们经受的主要是草原和森林草原地区的成壤作用。我们在甘肃临夏北原、陕西岐山城西与宝鸡陵原何家村第 1 层黄土中分别采集了 8—10 块样品进行有机质测定,结果表明,每块样品都含一定量的有机质(表 1,图 2)。下面四项证据表明黄土中的有机质至少有一部分是在成壤过程中形成的。一是临夏北原马兰黄土中有机质含量比现代新疆一些棕漠土有机质含量高^[13],二是黄土中的有机质具有波动变化性,三是在温度较低的临夏北原黄土中可见许多 2—5 mm 大小的灰黑色有机质斑点和被有机

质染黑的黑褐色团粒结构(图 1,照片 5),四是黄土中的有机质有时比红色古土壤有机质含量还高(图 2)。

1.2 黄土中的土壤淀积层

CaCO_3 含量高是黄土的重要特点之一^[1,14]。作者通过对陕西富县城东、长武城东第 1 层黄土 20 块样品的 CaCO_3 含量测定和镜下的识别可知,这两个剖面的马兰黄土中 CaCO_3 含量在 10%~17% 之间(图 3, a, b),并以次生 CaCO_3 为主,这表明黄土中的 CaCO_3 是次生淀积 CaCO_3 ,是淀积层的组成成分。资料表明,



D₁、D₂ 新疆西尼尔与库鲁塔克棕漠土;

D₃, 甘肃张掖市东灰漠土; L_{1a}、L_{1b}、陕西岐山城西与宝鸡何家村马兰黄土; L_{1c}、S₁ 甘肃临夏北原马兰黄土与第 1 层古土壤 (D₁、D₂ 据文献 [14], 其余为本文测定)

图 2 不同土壤中有有机质含量变化

Fig. 2 Variation of organic matter content in different soils
 风尘中 CaCO_3 含量常小于 3%, 明显低于黄土^[1], 也低于荒漠区的现代土壤(表 1) 分析干旱区成壤过程得知, 黄土中的 CaCO_3 大部分来自大气降水。据美国西南部的研究, 现代干旱区的土壤每平方米每年可从大气降水获得 1.0~5.1 g 的 CaCO_3 ^[15]。在成壤过程中, 大气降水中的 CaCO_3 通过蒸发淀积在黄土层中, 经过漫长成壤过程中 CaCO_3 的淀积聚集就形成了黄土富含 CaCO_3 的特征。因此, 黄土富含 CaCO_3 是黄土经历了富钙成壤作用的重要显示。由于黄土这种土壤形成于冷干气候条件下, 弱的淋溶作用没有造成 CaCO_3 明显聚集成层, 现代干旱区棕钙土、灰钙土 CaCO_3 淀积层也正是具有聚集不明显的特征。黄土发育在风尘连续堆积的条件下, 不断堆积和连续的淀积是造成淀积层不具明显成层性的主要原因。

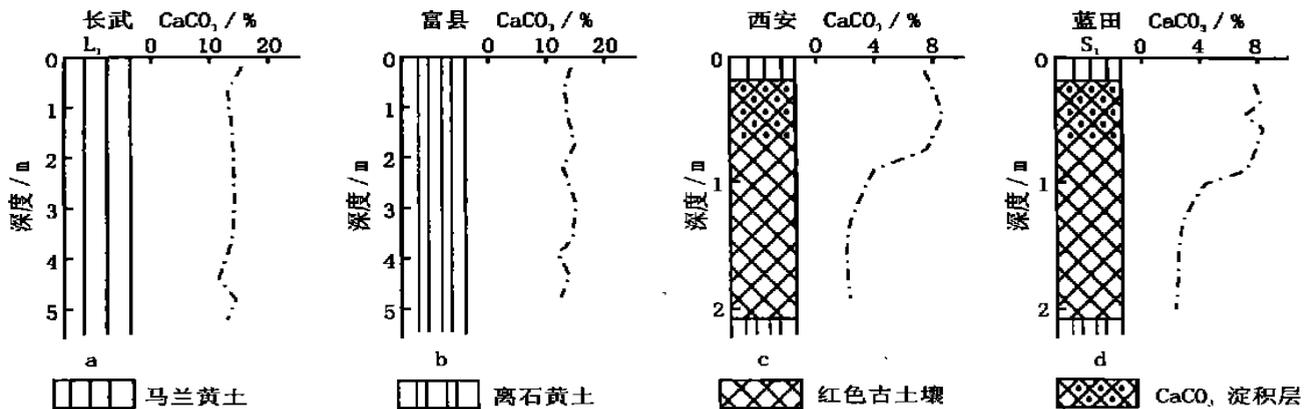
也许有人不相信黄土中不具成层性的次生 CaCO_3 是土壤的淀积层, 然而我们也能够找到具清楚成层性的黄土的 CaCO_3 淀积层。如果黄土具有 CaCO_3 淀积层, 那么位于各黄土层底部的红褐色古土壤粘化层的上部就会有 CaCO_3 淀积。在黄土高原中, 南部, 红

褐色古土壤受到了强烈淋溶, CaCO_3 含量通常很低^[16-18]。然而在红褐色古土壤粘化层上部, 可见棱柱状结构体表面具大量白色 CaCO_3 薄膜及少数结核, 淀积层厚度为 0.5 m 左右。采样分析表明西安与蓝田第 1 层黄土中的 CaCO_3 在下伏古土壤中的淀积聚集量为 8% 左右(图 3, c, d), 如加上结核中 CaCO_3 含量, 淀积层中 CaCO_3 含量会更高。

2 黄土发育时的生物作用和成壤因素

土壤是在生物的重要作用下经成壤过程形成的疏松土层。黄土发育时是否具有活跃、重要的生物因素对认识黄土形成作用的实质十分重要。土壤形成过程中的生物作用主要是植物和土层中微生物的作用, 只要地表有植被发育, 土层中就必然会有土壤微生物的活动。因此, 只要确定了黄土发育时的地表有植被发育, 就等于确定了所有生物作用的存在。

黄土中大量植物根孔是植被发育的直接证据。孢粉资料能够提供黄土发育过程中具备形成土壤的生物作用的有力证据。虽然孢粉可从荒漠地区搬运而来,



a, b. 分别为陕西长武城东和富县城东马兰黄土中的淀积 CaCO_3 含量; c, d. 分别为西安刘家坡、蓝田县杨家湾从马兰黄土中迁移下来并淀积在第 1 层红色古土壤上部的 CaCO_3 淀积层

图 3 黄土发育时形成的淀积 CaCO_3 含量

Fig. 3 Illuvial CaCO_3 content formed during development of loess

表 1 不同土壤中有有机质、 CaCO_3 和粘粒含量 (%)

Table 1 Content of organic matter, CaCO_3 and clay grains in different soils

地点	土壤	样品数	有机质		CaCO_3		粘粒	
			含量范围	平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值
新疆库鲁塔克	棕漠土	4	0.14~0.29	0.22	6.40~16.70	9.82	12.30~27.40	21.85
新疆西尼尔	石膏棕漠土	5	0.10~0.21	0.17	2.60~15.40	9.52	3.30~7.50	5.51
甘肃张掖市东	灰漠土	5	0.28~0.51	0.42	6.86~10.64	8.34	12.10~18.28	16.78
甘肃临夏北原	马兰黄土	8	0.21~1.38	0.61	11.59~14.43	13.10	19.80~37.00	26.60
甘肃临夏北原	第 1 层古土壤	8	0.30~0.59	3.69	7.40~12.40	11.00	29.00~47.50	37.15
岐山城西	马兰黄土	6	0.33~0.56	0.48	8.21~12.86	10.43	32.40~38.60	36.20
宝鸡何家村	马兰黄土	8	0.20~0.66	0.51	7.48~13.24	9.06	30.60~41.20	38.40

注: 新疆土壤资料据文献 [13], 其余为本文测定。

但荒漠区的植被与草原和森林草原区的植被不同,这种差别也是确定黄土经历土壤化及其强度的依据。我们通过对陕西岐山县城附近西马兰黄土中 49 块孢粉样品的分析可知,岐山地区马兰黄土发育时的植被为臭椿 (*Ailanthus*)、栎 (*Quercus*)、榆 (*Ulmus*)、鹅耳枥 (*Carpinus*)、菊科 (*Compositae*)、蒿属 (*Artemisia*) 等构成的森林草原 (图 4)。这种植被与荒漠植被大不相同,指示该区黄土发育时具有森林草原地区的成壤作用。动物化石同样显示黄土发育时具有明显的生物作用。黄土层中数量最多,最能说明当时地表有植被发育的动物化石是蜗牛。这类动物迁移距离很小,完全能够认为蜗牛是当时当地生长的。岐山剖面 12 块样品的筛选、鉴定的得知,各样品均含有蜗牛化石,以旱地型华蜗牛为主 (图 4),黄土中的蜗牛主要以植物叶为食,这表明黄土发育过程中动植物的作用始终是存在的。黄土中的啮齿类和象、马、牛、犀、鹿化石等的存在都指示黄土发育过程中具备形成土壤的生物条件。除生物因素外,形成土壤还有气候、地形、母质和时间四种因素。黄土发育时的高原地形使得风尘堆积在旱地条件下,风尘细而均一的母质特征非常利于土壤化,黄土发育速度又非常缓慢,并处在气候的直接作用下,所以黄土形成过程具备土壤发育的五大因素和相应的作用。一般认为,在细粒松散母质上发育一层成熟的土壤仅需数百年的时间^[14]。而发育 1 m 厚的黄土经历了长达 1 万年左右的时间^[1,14],所以黄土发育过程中有充分的时间形成成熟的红色古土壤,其没有变成红色土壤的原因是当时冷干气候决定的。

3 黄土形成过程的划分

过去一般所说的黄土形成过程是风尘堆积物在弱

碱性的氧化环境中,受到雨水和生物等的作用,其中的碎屑方解石大部分被溶解,并转入粒间溶液,再因强烈蒸发,重新沉淀出来成为次生碳酸盐,次生碳酸盐与少量铁锰氧化物包裹着粉尘颗粒,使之成为灰黄色、疏松多孔和具大孔隙的黄土^[1]。过去对黄土形成的研究较多地注意到了原生碎屑方解石向次生碳酸盐的转化,而对黄土发育时的生物作用、富钙作用和粘化作用注意不够,因而没有认识到黄土中的许多土壤结构和黄土形成的土壤化过程。

现代黄土高原西北部为干旱草原区,中部和东南部为半干旱的森林草原区和半湿润的落叶阔叶林区^[19]。在黄土发育的冰期气候比今冷干^[8,14],黄土高原西北部为荒漠草原区,中部为草原区,东南部为森林草原区^[14]。由于黄土高原存在气候、植被和成壤作用的差异,不同地区黄土形成作用及其强弱就会存在差别。根据黄土高原地区的气候、植被和黄土所受成壤作用强度的差异,可将黄土形成过程分为以下 4 种。

第一种是在黄土高原西北部干旱区发生的黄土形成过程。在这种地区,黄土发育时的气候比现今更为干旱,处在荒漠草原的气候条件下^[9,14]。这种地区风尘经受的成壤作用较弱,包括生物的作用,碎屑 CaCO_3 溶解和微弱迁移、淀积作用,来自大气降水中的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 经蒸发导致的 CaCO_3 富集和淀积作用,由于这一地区生物作用较弱,有机质含量低,微弱的淋溶导致 CaCO_3 呈粉末状、斑点状、薄膜状少见,并保存下来了相当多的原生碎屑 CaCO_3 。气候干旱,成壤过程中的化学作用弱,没有粘化作用发生,形成的土壤结构为粒状和团粒状。由于气候干旱,在 CaCO_3 淀积层之下有石膏淀积层发育。风尘经这一地区的成壤作用之后,形成的是棕钙土和棕漠土。第二种是在黄土高原

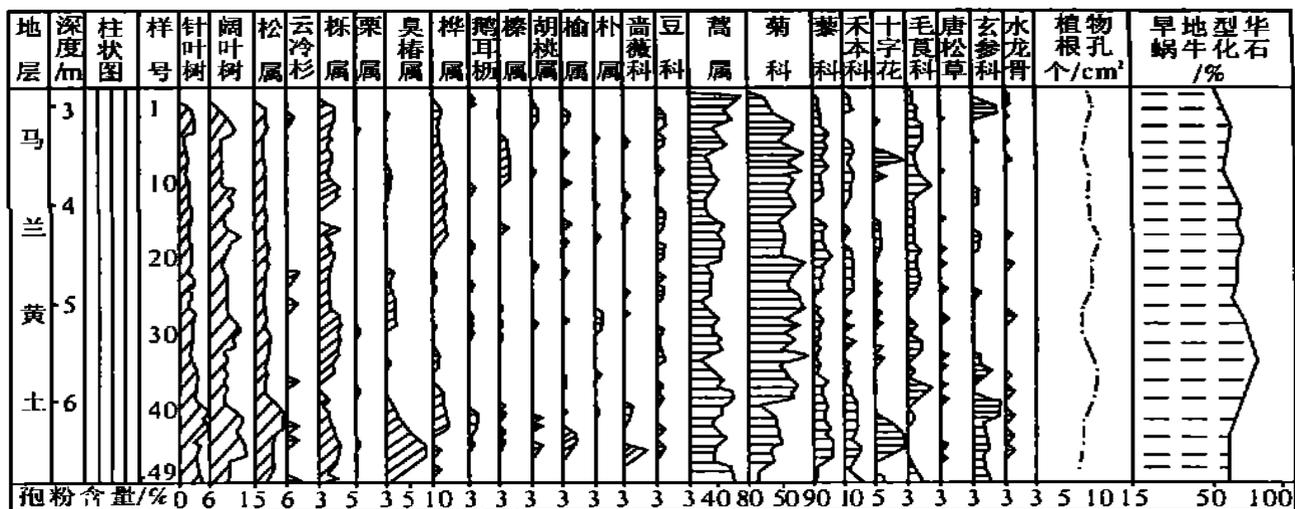


图 4 岐山县城附近马兰黄土中的孢粉、植物根孔和蜗牛化石含量

Fig. 4 Content of spore-pollen, root holes and fossil snails in Malan loess near Qishan city

中部半干旱区发生的黄土形成过程 在黄土形成时,这种地区以干旱的草原气候为主,处在草原土壤形成的条件下^[9,14]。这种地区的风尘经受的成壤作用也包括生物作用,原生碎屑 CaCO_3 溶解、迁移和淀积作用,来自大气降水中的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 蒸发、淀积和富钙作用。与荒漠草原区黄土的形成相比,这种地区的生物作用较强,形成了清楚的团粒结构、团块结构和丰富的根孔和虫孔;次生 CaCO_3 含量增加,多以薄膜、斑点形式出现; CaCO_3 的淋溶明显,一般没有石膏淀积层发育。在草原区的成壤过程中,化学作用仍较弱,没有粘化作用发生或仅有微弱残积粘化的表现。经过这一地区的成壤作用形成的黄土主要是栗钙土、灰钙土以及部分黑钙土。第三种是在黄土高原东南部发生的黄土形成过程,在这种地区,黄土形成时为森林草原植被和半干旱的气候^[9,14]。这种地区的风尘堆积后经受的成壤作用较前两种地区强,形成的土壤结构更为明显,除发育了大量草本植物根孔之外,还发育了许多直径较大的木本根孔。碎屑 CaCO_3 的溶解、迁移深度较大,并与来自大气降水中的 CaCO_3 一起聚集成为 CaCO_3 薄膜和部分结核。该区成壤过程中经受的化学作用较为明显,发生了一定的粘化作用,土层中普遍有粘粒含量增加的表现和粘粒聚集形成的粘土块。然而粘粒的特点显示这种地区发生的主要是残积粘化作用。粘化作用的结果使黄土具有典型的土壤的团块结构和部分似棱柱状结构。经过这种成壤作用形成的黄土主要是粘化黑垆土、黑焦土、黑麻土等。第四种是在黄土高原东南部和秦岭山区以及中国南方地区发生的黄土形成过程。这种地区黄土发育时出现过半湿润、甚至湿润的气候和森林植被,这种地区的黄土经受的成壤作用更强,发生了淀积粘化作用,具有似棱柱状结构与褐色土的特征。根据黄土形成所受成壤作用的不同,可将黄土形成模

式示于图 5

4 讨论

长期以来,人们一直把黄土作为沉积地层看待,应把黄土作为沉积地层看待还是应作为土壤看待主要取决于怎样有利于认识黄土与黄土形成的本质,其次看是否有利解决相关的理论问题和有关的应用问题。认识到黄土是土壤能够揭示黄土的本质和黄土形成过程的实质。既然黄土是土壤,我们就应当从土壤学的角度对其研究,以利于深刻认识黄土性质产生原因。黄土不但是土壤,而且是在当时当地气候条件下处于稳定状态的古土壤,这表明黄土能够可靠地作为较冷干气候的指示,它与红褐色古土壤的交替代表了生物、气候、土壤环境的变化。虽然过去人们曾根据黄土与红褐色古土壤的交替进行过气候旋回的划分^[20],但缺乏可靠的理论依据。本文的研究则解决了这一问题。

认识到黄土是土壤有助于完善土壤学的理论。黄土作为土壤,它的土壤剖面分层不明显,厚度比正常的土壤大,这是风尘连续堆积条件下发育的土壤的突出特征。一般认为,土壤具有较清楚的剖面分层,厚度通常小于 2 m。实际上这只是考虑了处在沉积间断条件下和较短时间过程中发育的土壤的特征,如果考虑到在风尘连续堆积条件下和漫长成壤过程中发育的土壤,就会得出土壤剖面可以不具明显分层,土壤厚度也可以明显大于 2 m。

认识到黄土是土壤能使我们查明黄土的湿陷性和水文性质产生原因以及黄土地下水赋存类型和富集规律。人们对黄土湿陷性进行了大量研究,但并未认识到黄土湿陷性产生的真正原因。据作者研究,并不是所有黄土都具有湿陷性,而是成壤弱的黄土才具有湿陷性^[21],黄土的湿陷性是在弱的成壤过程中产生的,

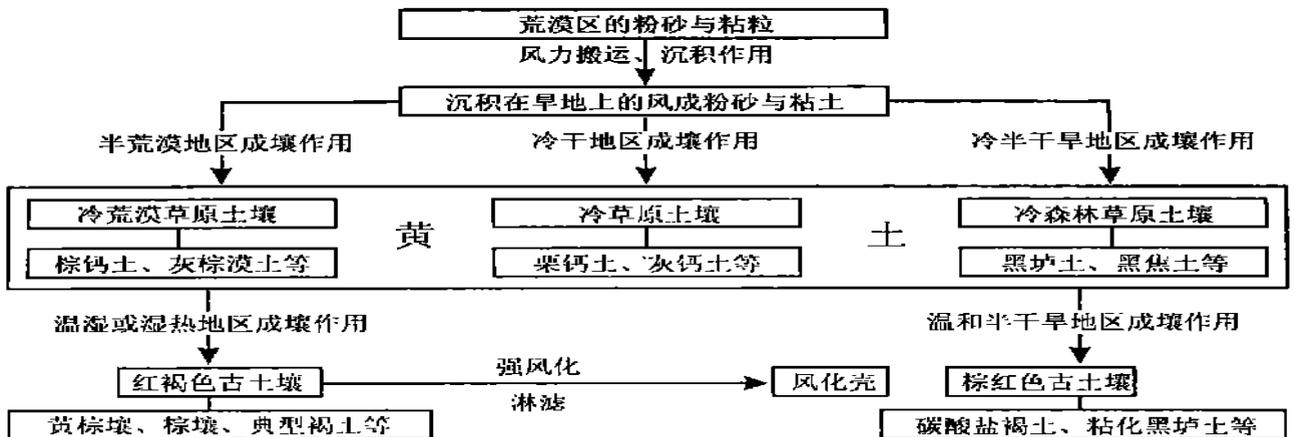


图 5 黄土形成与演变模式

Fig. 5 Formation and evolution pattern of loess

是几种草原土壤和荒漠草原土壤所具有的性质^[21]。从黄土高原的西北向东南,黄土湿陷性由强到弱^[21],秦岭山区和秦岭以南的黄土不具湿陷性,就是从西北向东南成壤作用由弱到强决定的。黄土中的地下水赋存类型实际上是土壤结构、土壤孔隙、裂隙决定的,黄土地下水运移、富集具有土壤水的特征。从土壤发生学的观点研究黄土地下水将能从根本上揭示其运移、富集规律和赋存类型。

认识到黄土是土壤能使人们更加珍惜黄土这一重要土壤资源,加强对它的保护。同时还能使我们清楚地看到黄土高原是世界上土壤资源最富集的地区。这种土壤资源粒度成分极为均一,植物营养成分丰富,蓄水能力强,很利于农林业的发展。

5 结论

综上所述,可得出如下认识。

(1) 黄土普遍具有成壤过程中形成的有机质和 CaCO_3 淀积产物,部分地区的黄土中具有粘土化的显示,黄土的本质是土壤,而且是狭义的土壤。

(2) 黄土发育过程中完全具备形成土壤的五大因素,作为母质的风尘非常利于土壤化,当时当地的生物气候条件决定了黄土只能是灰黄色的古土壤。

(3) 黄土形成过程的实质是土壤化,黄土主要是通过草原、森林草原和荒漠草原地区的成壤过程形成的,秦岭山区和南方的少数黄土经森林地区的成壤过程形成的。

(4) 黄土形成过程中发生的作用主要是生物作用、大气降水的微弱淋溶作用、 CaCO_3 的富集和淀积作用以及部分地区发生的粘化作用。

(5) 黄土主要是在相对冷干气候条件下发育的棕钙土、灰钙土、栗钙土、黑钙土和黑垆土。这样的土壤也是在当时当地生物、气候条件下处于稳定状态的发育成熟的灰黄色古土壤。不同地区的黄土所属土壤类型不同。作为发育成熟的灰黄色古土壤的黄土具有可靠指示冷干气候的作用。

(6) 黄土形成模式主要是风尘堆积后经受三种较弱的成壤作用变为灰黄色古土壤的模式。

(7) 黄土是性质优良的土壤资源,黄土高原是土壤资源最富集的地区。黄土的土壤发生层分层不清是风尘的连续堆积和弱的成壤作用造成的,黄土物理化学性质、水理性质在很大程度上受成壤作用强弱影响。

参考文献 (References)

1 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 4~ 6, 170~ 172, 277~ 300 [Liu D S. Loess and environment [M]. Beijing

Science Press, 1985. 4~ 6, 170~ 172, 277~ 300]

2 王永焱, 林在贯. 中国黄土的结构特征及物理力学性质 [M]. 北京: 科学出版社, 1991. 158~ 171 [Wang Y Y, Lin Z G. Structure characteristic of loess in China and physical, mechanical character [M]. Beijing Science Press, 1991. 158~ 171]

3 朱显谟, 祝一志. 论中国黄土高原土壤与环境 [J]. 土壤学报, 1992, 29(4): 351~ 357 [Zhu X M, Zhu Y Z. A discussion on soils and environment in the Loess Plateau of China [J]. Acta Pedologica Sinica, 1992, 29(4): 351~ 357]

4 雷祥义. 秦岭黄土的粒度分析及其成因初步探讨 [J]. 地质学报, 1998, 72(2): 178~ 187 [Lei X Y. Primary study on particle size composition and its origin [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72(2): 178~ 187]

5 Kukla G J. Loess stratigraphy in central China [J]. Quaternary Science Review, 1987, 6: 191~ 219

6 Rutter N W. 中国第四纪黄土和全球变化 [J]. 第四纪研究, 1992, 12(1): 1~ 11 [Rutter N W. Quaternary loess in China and global change [J]. Quaternary Sciences, 1992, 12(1): 1~ 11]

7 Emiliani C. Paleotemperature analysis of Core 280 and Pleistocene correlation [J]. Journal of Geology, 1958, 66: 264~ 272

8 Kukla G J. Pleistocene land and sea correlation [J]. Earth Science Review, 1977, 13: 307~ 374

9 赵景波. 第四纪冷干气候条件下发育的古土壤 [J]. 土壤通报, 1991, 22(6): 245~ 248 [Zhao J B. Paleosol developed under cold and arid Quaternary climate [J]. Soil Bulletin, 1991, 22(6): 245~ 248]

10 赵景波. 西安刘家坡剖面第 1 第 5 层古土壤研究 [J]. 地理研究, 1991, 10(4): 51~ 58 [Zhao J B. A study on 1st and 5th paleosol in Liujiapo profile in Xi'an [J]. Geographical Research, 1991, 10(4): 51~ 58]

11 赵景波, 黄春长, 岳应利. 中国黄土中的风化壳研究 [J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 90~ 95 [Zhao J B, Huang C C, Yue Y L. A study on weathering crusts in loess of China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1): 90~ 95]

12 唐克丽. 武功黄土沉积中埋藏古土壤微形态及其发生学探讨 [J]. 科学通报, 1981, 26(3): 177~ 179 [Tang K L. A discussion on micromorphology of buried paleosols in loess of Wugong and its origin [J]. Chinese Science Bulletin, 1981, 26(3): 177~ 179]

13 熊毅, 李庆远. 中国土壤 [M]. 北京: 科学出版社, 1989. 150~ 162 [Xiong Y, Li Q K. Soil in China [M]. Beijing Science Press, 1989. 150~ 162]

14 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994. 70~ 82 [Zhao J B. Quaternary soils and environment in northwestern loess area [M]. Xi'an Scientific and Technological Press of Shaanxi, 1994. 70~ 82]

15 Marion G M, Schlsinger W H. and Fonteyn P J. A regional model for soil CaCO_3 deposition in Southwestern Desert [J]. Soil Science, 1985, 139: 468~ 481

16 赵景波. 关中平原黄土中古土壤 CaCO_3 淀积深度研究 [J]. 科学通报, 1991, 36(18): 1 397~ 1 400 [Zhao J B. A study on illuvial depth of CaCO_3 of paleosol in loess in the Guanzhong Plain [J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(18): 1 397~ 1 400]

17 赵景波. 黄土中古土壤淀积类型 [J]. 地理学报, 1995, 50(1): 45

- ~ 50 [Zhao J B. Illuvial types of CaCO_3 in paleosols in loess [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(1): 45~ 50]
- 18 赵景波. 风化淋滤带地质新理论— CaCO_3 淀积深度理论 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(1): 29~ 35 [Zhao J B. A new geological theory on weathering and leaching zone— illuvial theory of CaCO_3 [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 29~ 35]
- 19 朱志诚. 秦岭及其以北黄土区植被地带特征 [J]. *地理科学*, 1991, 11(2): 151~ 164 [Zhu Z C. Regional characteristic of vegetation in the Qinling Mountains and beyond its north [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1991, 11(2): 151~ 164]
- 20 丁仲礼, 刘东生, 刘秀铭等. 250万年来的 37个旋回 [J]. *科学通报*, 1989, 34(19): 1 494~ 1 496 [Ding Z L, Liu D S, Liu X M *et al.* 37 cycles since 2. 5M a B. P [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1989, 34(19): 1 494~ 1 496]
- 21 赵景波, 岳应利, 陈云. 黄土湿陷性及其成因 [J]. *地质力学学报*, 1997, 4(3): 62~ 68 [Zhao J B, Yue Y L, Chen Yun. Collapsibility of loess and its origin [J]. *Journal of Geomechanics*, 1997, 4(3): 62~ 68]

The Essence and Formation Model of the Loess

ZHAO Jing-bo

(Department of Geography, Shannxi Normal University, Xi'an 710062)

(State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075)

Abstract The materials show that the loess possess bio-texture, edge-prismatic and crumb texture, and also have the illuvial component of CaCO_3 coming from the soil and the atmospheric water, which reveals the reason of high CaCO_3 content and calcification. In the cold and wet areas, the organic content in the loess is higher than that in the soils of desert-grasslands areas, which indicate the loess is the soils with the organic substance formed during the soil-forming process.

The loess possess these conditions such as biology, climate, fine-homogeneous parent material forming soil fast, available terrain and long enough time to change into mature soil during its the developmental process, which shows during the loess formation process, the five fundamental factors for soil-forming have been provided. In essence, the loess is soil, and it is made up of multiple gray-yellow paleosol developed under the conditions of cold and arid climate relatively. In addition, it is steady and mature paleosol under the unique climate condition at that time, the soil types of which are mainly chestnut soil, sierozem, brown soil and dark loessial soil but only minority is cinnamon soil.

The formation model of the loess is the one that wind dust experience soil-forming processes in the areas of forest-grasslands, grasslands and desert-grasslands. The loess can indicate the cold and arid climate. In the loess plateau areas, the soil resource enriches mostly, the loess is the soil resource with superior soil texture, rich element and mineral component. The sub-divisions of soil profile isn't obvious owing to continue deposit of wind dust and the weak soil-forming processes. The physical and mechanical character of the loess is influenced by the soil-forming process to a great extent.

Key words the formation of the loess, the essence of the loess, weak soil-forming process, grasslands soil, the formation model of loess