

黄土的物质成分和结构与水土保持的关系

刘东生 文启忠 郑洪汉 安芷生

(中国科学院地球化学研究所)

黄土是我国有特色的第四纪沉积物。黄土在中国北方的分布,大致为北纬30—40°的范围。其中以黄河中游地区分布最为广泛,构成了切割程度不一的黄土高原。黄土在黄河中游地区的分布面积约为275,600平方公里^[1],占该区总面积的40%以上。黄土高原是一个遭受较强烈侵蚀的地区,加之黄土本身的性质比较疏松,具大孔隙和垂直节理发育等组织结构特征,使这里的水土流失比较严重。解决西北黄土高原水土流失问题,对实现我国农业现代化具有重大意义。

探寻水土流失规律,因地制宜地提出控制水土流失的措施,促进农林牧综合发展,需要多学科多兵种配合,综合考虑。本文试从地质环境角度,就黄土物质成分和结构与水土保持的关系作一初步讨论。

一、黄土的物质成分

中国的黄土包括新黄土(马兰黄土)与老黄土(离石及午城黄土),形成时代有新有老(包括晚更新世马兰黄土,中更新世离石黄土和早更新世午城黄土),分布地区有不同,但其物质成分却大体相似,并具有随时代不同和空间分布的分带性的特点。

1. 黄土的粒度成分。黄河中游黄土的粒度组成以粉土(0.05—0.005毫米)为主,其含量>50%,其中粗粉土的含量大于细粉土。>0.25毫米的粒径在黄土中极少。虽然黄土的粒度组成主要集中于粉砂粒级,但就砂粒含量的变化来看,自鄂尔多斯之西北向东南则有渐次由粗变细的趋势。根据细砂和粘粒含量可将马兰黄土划分为砂黄土、黄土和粘黄土(细黄土)三个带^[2]。各带间并无明显的突变界限,而是逐渐过渡的。其中第Ⅰ带砂黄土,细砂含量23.6—72.4%,粘粒含量7.0—20.0%;第Ⅱ带黄土,细砂含量11.1—31.5%,粘粒含量8.1—30.4%;第Ⅲ带粘黄土,细砂含量11.4—21.9%,粘粒含量18.0—27.8%。

离石—午城黄土在颗粒成分上和马兰黄土相比,细砂含量普遍减少,粉土含量有所增加,粘粒含量也较多。

2. 黄土的矿物成分。各地黄土矿物成分基本相似。其中大约有60多种矿物。主要成分是石英、长石、云母和方解石类,这几种矿物几乎占碎屑矿物总量的80—90%。重矿物含量变化于4—7%,多集中于10—100 μ 的粒级中^[3]。重矿物的种类以普通角闪石、绿帘石和不透明矿物含量占优势。黄土矿物成分在区域上的变化与粒度成分的分带性相

一致。如马兰黄土重矿物组成特征也有自西北向东南逐渐变化的趋势：其一是比重较大的矿物(比重4.5—5.0)逐渐减少，比重较小的矿物(比重3.0—3.5)逐渐增加；其二是非稳定矿物自西北而东南逐渐减少，而稳定、极稳定矿物则有所增加^[2]；其三是普通角闪石含量与非透明矿物含量的比值自西北而东南逐渐减小^{*}。

离石—午城黄土中的矿物种类和含量百分比与马兰黄土极为类似，只是其中绿帘石—黧帘石类和非透明矿物类的含量略较马兰黄土为高，而角闪石的含量则较马兰黄土为低。

黄土中的粘土矿物以伊利石为主，含有蛭石、高岭石和具有蒙脱石晶层的间层矿物。粘土矿物的区域变化就马兰黄土而言，自西北而东南伊利石的HW值(矿物X射线衍射峰的 10\AA 峰高/ 10\AA 峰的半宽高)递减；同时，在东南部，高岭石和绿泥石相对伊利石而言，略有增加。这一趋势与黄土高原从西北地区往东南，气候由干旱向湿润的变化一致。这说明在干旱气候条件下的伊利石具有较多的粘粒云母晶层，而在相对较湿润的条件下，伊利石类矿物以富含蒙脱石晶层(膨胀晶层)为特征。

3. 黄土的化学成分。中国黄土的主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 CaO ，三者含量达70%以上，其次为 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 和 FeO 。这些化学成分在区域上的变化是 SiO_2 自北而南含量减少， Al_2O_3 、 Fe_2O_3 相反增加。这种变化与黄土粒度成分和矿物成分的分带性有联系，同时与堆积时的自然地理条件有关。

黄土的微量元素主要有钛、锰、锶、钡、锆、钒、铬、铅、锌、镍，其次有铝、硼、钴、镱和铍等。此外，最近的分析发现，黄土中还有稀土元素，其总量可达160—210ppm。

近年来，我们着重对作物生长有关的几个微量元素作了进一步的分析，发现它们在马兰黄土中的变化是自北而南微量元素总含量递增，且锌、铜、锰各别元素的含量也由少到多。如锌含量(单位ppm)由榆林的50.9—延安的64.5—洛川的72.1—武功的74.0。铜、锰含量的变化也有相同的趋势。它们的区域分布与马兰黄土的分带性特征吻合^{*}。

黄土中微量元素的含量和分布与土壤肥力有关。我们以昔阳大寨为例，探讨过黄土改造过程中微量元素的变化与农业的关系^[4]。由分析得知，大寨马兰黄土中锌、铜、锰的全量都处于一般土壤含量范围内，甚至超过平均值，而这些元素的有效态含量一般都低于临界值(除硼外)。但是在改造过程中，黄土母质中的一些微量元素也发生了变化：即随改造年限的增长，在土壤不断熟化过程中，有效态锌、铜、铝和代换态锰的含量也逐渐增加；甚至在经过一个种植季节后，大寨田土壤中有效锌、铜、铝的含量都有显著提高。但在新建地块中，土壤有效锌、锰、铝的含量较低，这可能反映了新建大寨田土壤中锌、铜、锰、铝的供给能力一般不高。据田间观察试验表明，在新建地块中，玉米苗期不同程度地出现黄条“叶斑病”与缺锌有关，故施用锌肥效果良好。

二、黄土的微结构

黄土的微结构形态以马兰黄土为例，可分为下列三类：(1)接触式胶结；(2)

- 魏兰英：1979，马兰黄土中重矿物的研究。
- 刁桂仪等：1979，马兰黄土中的微量元素。《第三届全国第四纪学术会议论文集》

接触—基底式胶结；（3）基底式胶结^[5]。

马兰黄土微结构特征也反映出与物质成分类似的区域性变化特点。

1. 骨架颗粒（0.25—0.005毫米）的滚圆度逐渐变大，从砂黄土带多为棱角状过渡到粘黄土带多为滚圆或半棱角状。

2. 马兰黄土中胶结形式的区域变化是自西北向东南由接触式逐渐过渡为基底式。胶结形式的这一区域变化规律与马兰黄土中粘粒含量自西北而东南不断增加有密切关系。

3. 随着自西北而东南马兰黄土的“骨架”颗粒变细，粘粒等胶结物增多，马兰黄土的粒间空隙也变得越来来越细，其数量也愈来愈少。如由砂黄土—黄土—粘黄土带，粒间空隙含量（占土体面积）由5.6→2.74→(<2.5)%。

黄土改造过程中，随着物理、化学和生物作用的不断进行，土壤微结构也发生变化。我们以昔阳大寨为例，研究了各种类型大寨田原状结构中碎屑颗粒，碎屑颗粒之间呈聚集状态出现的粘粒胶体物质，呈团粒出现的微聚合体，孔隙和裂隙的分布，以及土壤发生发展过程中所产生的各类新生体的形态特征，从而认识它们对土壤肥力和熟化过程中的意义。

从黄土母质转变成为大寨田的结构分析、观察中发现，标志土壤发生程度的一些特征是：（1）定向排列的粘土的析出；（2）碳酸盐新生体；（3）铁质新生体；（4）植物残体；（5）团粒的形成。

在黄土改造为大寨田的过程中，土壤微结构的基本特征除受黄土母质的制约以外，与土壤修建后耕种年限有密切关系，随耕种年限的增加日益发生显著的变化*。

1. 随耕种年限的增加，土壤中碎屑颗粒的胶结形式，自耕种一、二年土壤所具有的接触—基底式胶结，转变为基底式胶结。即次生粘土、有机胶体等胶结物不断增多，碳酸盐类胶结物则不断淋失。

2. 随着耕种年限的增加，有机质和粘土质团粒不断增多、增大，同时也增大了土壤的孔隙率。致使土壤熟化程度不断增长，肥沃性不断提高。

3. 随着耕种年限的增加，土壤中定向粘土析出和移动，铁质、碳酸盐新生体出现。同时土壤中植物残体和蚯蚓粪出现。

大寨大队在耕种措施中所采用的黄土掺红土，掺煤屑，多施秸秆肥等，有利于调节土壤的微结构。并可使黄土、红土等母质上的生土在三、五年内基本熟化。

三、物质成分和结构与水土保持关系

我国人民有着利用与改造黄土，用以发展生产和保护环境的丰富经验和悠久历史。黄土的利用和改造与黄土的物质成分和结构有着密切的关系，因而在考虑黄土高原进行水土保持，农林牧综合发展时，根据物质成分和结构特征提出如下几点认识：

1. 考虑到黄土的物质成分和结构具有明显的分带性特征，在进行水土保持，农林牧综合发展时，因地制宜。根据土质的不同，地理位置的不同和水文地质条件的不同而有所区别。如在黄土高原北部砂黄土带修梯田时，田坎的高度和倾斜度的设计与东南部粘黄土带有所不同。前者应较低矮，且需成一定的角度向下倾斜；后者田坎较高且直立。

另外，在黄土高原地区进行筑坝造田施工时，也要考虑黄土物质成分和结构区域性

* 地球化学研究所黄土研究组：1977，“大寨田土壤物质成分和微结构的基本特征”。

变化的特征。如水坠坝措施，在砂黄土复盖的丘陵区，是一个较好的快速筑坝技术。但在黄土原区，由于黄土和粘黄土较北部砂黄土质地细，粘聚力稍大，且原区马兰黄土厚度较薄，胶结较紧实的离石—午城黄土在沟壑中又大量出露，不易为水所冲散，因而水坠坝施工在原区不甚适宜。

2. 农田基本建设与水土保持密切配合。调剂土质，平整深翻土地，改善土壤结构性状，使水土从易流失向易保持的方向转化。在进行水土林综合治理的过程中，首先要抓土。抓土，就是大搞农田基本建设，以工程措施促进水土流失向水土保持转化。在梁峁区建设水平梯田，原区搞“椽帮埝”。沟道打坝淤地，修拦泥水库及蓄水库。平整深翻土地的过程中，对初始耕作的黄土性土壤进行人工调剂土质，改良土壤，深翻深刨，增施有机肥料等，以促使黄土性土的粉砂结构具有良好团粒结构的土壤。土质疏松多孔，水分、养分增加。保证了土壤的水、肥、气、热和微生物的活动，有利于蓄水保墒和发挥土壤肥力的作用。

3. 重视黄土及其上部耕作土中微量元素的研究，提高土壤肥力。在实现基本农田高产稳产的问题中，土壤肥力是很重要的因素。土壤肥料除氮、磷钾等外，微量元素也是必不可少的。黄河中游各地以黄土为母质发育的现代黄土性土壤中，各微量元素的全量与黄土中的差别不大，但锌、锰、钼的有效态含量的平均值均低于临界值。因此，黄土性土壤上的作物可能出现上述微量元素供给不足的状况。这就提出了黄河中游黄土性耕作土壤增施微量元素肥料的必要性，或加强措施，促进土壤熟化，为微量元素由固定态向有效态转化提供有利条件。同时在增施化肥和微量元素肥料时，还要考虑到各元素之间的相互作用，以便在土壤不断改良的过程中，保持元素之间的动态平衡，以保证植物正常生长和高产稳产的需要。

4. 注意粘土矿物对土壤肥沃性和工程设施的影响。随土壤耕种年限的增加，粘粒、胶体物质增多，吸收性能强，代换性盐基量增大，有机质增加。同时粘土与有机胶体物质结合，促进团粒形成和毛管孔隙发育，使土壤肥沃性提高。

由于黄土中主要粘土矿物伊利石所含蒙脱石晶层在不同土层和不同地带略有不同，使粘土的离子交换能力、可交换性阳离子的性质都有差异，以致其膨胀性能也不一样。因此，不同地区、不同时代黄土中粘土矿物的种类和分布对水土保持和有关工程的实施也有一定的影响。

此外，根据黄土的地层结构、物质成分和微结构特征，在黄土高原采取合理的生物和工程措施是防止水土流失的重要途径。对黄河现代地质作用的研究表明，黄土高原大面积上产生的泥沙要尽可能利用黄河中游可接受的沉积环境。淤积泥沙，控制输向下游的泥沙量，并在大面积上加以利用，这也许是治理黄河的一个重要途径。

参 考 文 献

- [1] 刘东生等：1964，《黄河中游黄土》。科学出版社，1页。
- [2] 刘东生等：1966，《黄土的物质成分和结构》。科学出版社，2—3页。
- [3] 刘东生等：1965，《中国的黄土堆积》。科学出版社，173—185页。
- [4] 文启忠等：1979，黄土改造过程中微量元素的变化。《地球化学》，第2期，145—154页。
- [5] 朱海之：1963，黄河中游马兰黄土颗粒及结构的若干特征。《地质科学》，第2期，98—99页。