

黄土高原第四纪期间水土流失的地质记录和基本规律

夏正楷

(北京大学城市与环境学系 北京 100871)

摘要 黄土高原保存有许多第四纪期间水土流失的地质记录,这些记录表明,50万年以来,黄土高原至少有5个水土流失十分强烈的时期,它们分别出现在0.70~0.50MaB.P.、0.2~0.25MaB.P.、0.14~0.08MaB.P.、0.01~0.015MaB.P.和0.006~0.002MaB.P.等气候温暖湿润的阶段,说明影响黄土高原水土流失的主要原因是气候条件。

关键词 第四纪 水土流失 黄土高原

The Records of Quaternary Soil Erosion in the Loess Plateau

Xia Zhengkai

(Department of Urban and Environmental Sciences, Beijing University Beijing 100871)

Abstract There are lot of records of Quaternary erosion (gully erosion, slope erosion and debris flow) in the Loess Plateau. By field survey and data analysis, the main 5 stages of strong soil erosion happened at 0.70~0.50MaB.P., 0.2~0.25MaB.P., 0.14~0.08MaB.P., 0.01~0.015MaB.P. and 0.006~0.002MaB.P.. The correlation between the records of soil erosion and climate change since the fifth paleosol layer shown that soil erosion happened at humid temperate climate. In addition, precipitation and surface runoff were much higher in the humid temperate stages, affecting the stability of the underlying loess with vegetation. This resulted in the onset of erosion and the development of gullying.

Key words Quaternary soil erosion Loess Plateau

黄土高原生态环境脆弱,水土流失十分严重。40多年的实践证明,要搞好黄土高原的综合治理,不但要研究水土流失的现状,而且还要研究水土流失的历史,其中第四纪期间水土流失基本规律的研究,对于了解水土流失的历史发展过程,分析影响水土流失的主要因素,制定黄土高原综合治理的正确方案,具有重大的理论与实践意义。

1 黄土高原第四纪水土流失的地质记录

由于黄土特殊的岩石学性质,黄土高原从它形成的时候开始,水土流失就始终存在。在整个第四纪期间,西风环流带来的大量黄土粉尘在这里逐渐堆积,与此同时,堆积下来的黄土物质又不断地受到流水的侵蚀。目前我们见到的千沟万壑的黄土高原,是在长达240万年的第四纪期间逐步形成的。黄土高原现代水土流失的基本途径,如沟谷侵蚀、坡面侵蚀和泥石流等,也是第四纪期间黄土高原水土流失的主要途径。

1.1 沟谷侵蚀作用

黄土高原水土流失的主要过程之一是沟谷侵蚀,现在是这样,过去也是如此。根据黄土高原沟谷发育历史的研究,中更新世以来至少可以划分出5个沟谷最发育的时期^{[1][2]}。

第一期:相当于第五层古土壤(S_5)形成之前,距今大约56万年。从 S_5 古土壤的产状来看,当时地面具明显的波状起伏,与这一期的沟谷侵蚀有密切的关系。

第二期:相当于第二层古土壤(S_2)形成之前,距今约25~20万年,主要形成主沟的四级阶地基座。 S_2 古土壤层的产状表明当时沟谷宽浅,沟谷深40 m,谷坡坡度约20~25°。

第三期:相当于第一层古土壤(S_1)形成之前,距今约12.5~10万年,主要形成主沟的三级阶地基座。当时沟谷沿第二时期形成的宽浅冲沟下切约100 m,谷坡坡度20~25°;期间沟谷发育长度3~6 km,是第四纪期间黄土高原侵蚀最强烈的时期。

第四期:相当于古土壤(S_0)形成之前,距今约1.5~1万年,主要形成主沟的二级阶地基座和垂直于主沟的支沟,沟壁坡度可达50~60°;期间沟谷发育长度1~3 km,黄土高原的沟谷密度明显加大。

第五期:距今约6千年,主要形成主沟的一级阶地基座,期间沟谷源头向上延伸了50~300 m。

上述五期沟谷的发育具有明显的继承性,即后期的沟谷基本上沿着前期的沟谷发育,随着沟谷的演变,水土流失不断进行,其中以12.5~10万年沟谷发育最为迅速,水土流失最为剧烈。

1.2 坡面侵蚀作用

坡面侵蚀是黄土高原的另一种主要侵蚀方式。由于受古地形的影响,特别是伴随着沟谷的形成与发展,黄土高原内部坡面过程十分活跃,在黄土剖面中,经常可以见到古土壤层倾斜、交切等现象,还可以见到古土壤之间有厚层的坡积物发育,说明在第四纪期间,黄土高原经历过强烈的坡面侵蚀^[3]。

大量研究表明,黄土高原的坡面侵蚀也有过多次强烈发育的时期。在蓝田陈家窝子,黄土剖面中至少出现有三次古土壤层的交切现象,分别出现于距今约70万年(Q_1 和 Q_2 之间)、25万年(Q_2 中期)以及10万年(Q_2 和 Q_3 之间)。在蓝田支家沟,黄土剖面中除了上述几次古土壤的交切之外,还可以见到发生在距今约50万年(Q_2 早期)的古土壤层交切现象^[4]。古土壤层的交切反映了坡面的强烈侵蚀,交切现象的多次出现说明强烈侵蚀具有多发性,其发生的时间大体上与前述沟谷主要发育时期相当。

1.3 泥石流

除了常态的沟谷侵蚀和坡面侵蚀之外,泥石流是造成黄土高原流失的重要原因之一。黄土高原是泥石流高发区,每逢暴雨季节,泥石流时有发生。地质纪录表明,在第四纪期间,黄土高原有过多次泥石流频发期,它们分别出现于距今180~160万年、70~60万年、25万年、14~8万年、4

~ 2.5 万年以及 0.6~0.2 万年。泥石流的活跃期与坡面强烈侵蚀期、沟谷主要发育时期基本上同步(表 1)。

以上地质纪录表明,黄土高原的沟谷侵蚀、坡面侵蚀及泥石流在第四纪期间不但十分活跃,而且具有多发性和群发性的特征。

2 黄土高原第四纪古植被状况

植被是防止水土流失的天然屏障。目前黄土高原植被稀疏,黄土裸露,这是造成黄土高原沟壑纵横、水土严重流失的重要原因之一。

黄土地层的孢粉分析结果表明,在整个第四纪期间,孢粉含量普遍不高,说明黄土高原的植被一直比较稀疏。例如,在洛川黑木沟剖面,大部分层段孢粉稀少,仅见有少数的草本植物,如蒿属、藜科、麻黄科等,代表了植物十分稀疏的荒漠草原景观。仅有少数层段的孢粉含量相对比较丰富,其中木本植物孢粉可占到 35.4%~51.7%,主要有松属、桤木属和栎属等;草本植物占 58.3%~38%,主要为禾本科、藜科、蒿属等,代表了植被比较繁茂的暖温带森林草原景观。除了孢粉资料之外,黄土和古土壤的土壤学研究也证明,黄土是干燥寒冷气候环境下的产物,其中弱成土作用的黄土代表干冷荒漠草原,中等成土作用的黄土代表干冷草原,显著成土作用的黄土代表草原环境。而古土壤被认为是比较温暖气候条件下的产物,其中黑垆土代表草原环境,碳酸盐褐土和褐土代表草原-旱生森林环境,淋溶褐土指示旱生森林环境,而棕褐壤则指示落叶阔叶林-旱生森林过渡环境。据刘东生估算^[6],距今 97 万年以来,黄土堆积时期占 60%(约 57.9 万年),古土壤发育时期仅占 40%(约 39.1 万年),其中指示草原环境的碳酸盐褐土、褐土和黑垆土又占到 69%(约 27 万年),这说明,距今 97 万年以来,黄土高原主要是草原-干草原环境,地表植物相当稀疏的(表 2)。

表 2 洛川黑木沟黄土地层孢粉组合

年代/ Ma B. P.	采样深度 / m	孢粉总数 / 粒	木本 / %	草本 / %	植被状况
0.41	0~30	617	35.4	58.3	森林草原
0.92	30~56	54	26(粒)	21(粒)	干冷草原
1.05	56~75	168	51.7	38	森林草原
1.48	75~90	26	10(粒)	8(粒)	干冷草原
2.10	92~122	423	41.8	43.9	森林草原
2.40	122~130	28	16(粒)	10(粒)	干冷草原

孢粉组合的变化和黄土-古土壤序列反映了黄土高原植被面貌的多次更替。试比较第四纪期间水土流失强度的变化和植被面貌更替之间的对应关系,可以发现,水土流失较强的时期往往与植被状况较好的森林草原-草原环境相对应,而水土流失较弱的时期往往与植被稀疏的草原-干草原-荒漠草原环境相一致(表 3)。造成这种反常现象的主要原因可能要归结于黄土高原植被一直比较稀疏,植被覆盖度的有限变化不足以抵消气候剧烈变化给水土流失带来的影响。

表 1 黄土高原主要沟谷发育期、坡面侵蚀期及泥石流活跃期之对比

沟谷发育期 / Ma B. P.	坡面侵蚀期 / Ma B. P.	泥石流活跃 / Ma B. P.
0.006		0.006~0.002
0.01~0.015		
		0.04~0.025
0.125	0.10	0.14~0.08
0.20	0.25	0.25
0.56	0.50	0.07~0.60
	0.70	
		1.80~1.60

3 气候变化对水土流失的影响

第四纪期间, 气候的剧烈变化是造成黄土高原水土流失强度发生变化的主要原因。气候变化主要通过两个途径来影响水土流失, 一个途径是降雨量和降雨强度的变化, 另一个途径是植被的变化, 这两方面的影响相互制约, 共同控制着黄土高原的水土流失情况。

在全球气候温暖间(间冰期) , 地处欧亚大陆东部的黄土高原受东亚季风影响, 夏季风盛行, 气候以温暖为特征, 降雨量丰富, 且集中于夏季, 有利于沟谷发育、坡面侵蚀及泥石流的发生, 反之在全球气候寒冷期(冰期) , 黄土高原冬季风盛行, 气候以干冷为特征, 降雨稀少, 降雨强度也小, 不利于地面的侵蚀。从黄土高原水土流失的历史来看, 一般情况下暖期都伴随有侵蚀作用的加强, 沟谷发育期、坡面侵蚀期及泥石流多发期都与暖期相对应, 而冷期则往往伴随着侵蚀作用的减弱。

虽然在气候温暖湿润的暖期, 植物比较茂盛, 对地面能起一定的保护作用, 有利于限制水土的流失, 但由于植被覆盖度变化有限, 难于对抗气候带来的巨大影响。因此, 在第四纪期间, 决定黄土高原水土流失强度变化的主要因素是气候, 植被仅居次要地位。

由于植被的演变要滞后于气候的变化, 另一方面也由于气候由冷变暖比由暖变冷要急剧得多, 因此在气候由干冷向温暖快速转变的阶段, 虽然降雨状况已有明显的改善, 但植被尚未恢复, 此时地面侵蚀达到最强, 这可以从坡面侵蚀通常出现在古土壤发育之前得到证明; 反之, 在气候由温暖向干冷缓慢转变的阶段, 虽然降雨明显减少, 但植被保存尚好, 此时侵蚀作用最弱。而在暖期与冷期期间, 前者降雨多, 植被覆盖亦好, 后者植被覆盖差, 但降雨亦少, 这两个阶段侵蚀量均处于中间状况, 相比之下, 暖期侵蚀要大于冷期侵蚀。

4 人类活动对水土流失的影响

以上我们讨论了第四纪期间黄土高原水土流失的自然进程, 这个进程愈来愈明显地受到人类活动的严重干预。

人类活动对水土流失的影响表现在两个方面, 一方面是为改变地表植被状况, 另一方面是人工改造地形。在人类社会发展的早期, 人口稀少, 生产力低下, 人类的活动范围小, 对自然环境破坏不大, 黄土高原的水土流失基本上遵循其内在自然规律进行, 人类对它的影响甚微。但是, 随着社会的发展, 生产力水平不断提高, 人口急剧增加, 人类的活动范围愈来愈大, 对自然的索取愈来愈多, 由此, 造成森林被滥加砍伐, 草场被破坏, 坡地, 尤其是陡坡地被开垦, 其必然结果是水土流失不断加剧, 人类活动加速了水土流失的自然进程。在人类进入现代社会以后, 随着科学技术的发展, 人们愈来愈清醒地意识到自己的责任, 为了保护环境, 促进生态的良好循环, 黄土高原开始了大规模的种草种树, 整治沟谷和坡地, 改革不合理的耕作方法, 人类的这些活动, 无疑地将大大减缓水土流失的自然进程。

历史上黄土高原的天然植被至少经历过三次大规模的人为破坏, 它们分别出现在秦汉、隋唐

表 3 黄土高原水土流失强烈期与相应植被的对比

水土流失强烈期/ Ma B. P.	植被状况
0. 006 ~ 0. 002	森林草原(大西洋期)
0. 015 ~ 0. 01	草原(S ₀)
0. 04 ~ 0. 025	草原(温凉事件)
1. 4 ~ 0. 8	旱生森林(S ₁)
25 ~ 20 万年	旱生森林- 草原(S ₂)
56 万年	旱生森林- 落叶阔叶森(S ₅)
70 ~ 60 万年	旱生森林- 草原(S ₇ - S ₆)
180 ~ 160 万年	森林草原(W _{S-2})

和清代康熙—乾隆等所谓“盛世”时期(表 4)。根据竺可桢的意见^[7],这三个时期中的前两个(秦汉和隋唐)正是我国近 5 000 年来气候相对温暖湿润的时期。除了湿润气候有利于水土流失的发展之外,当时良好的气候条件和安定统一的社会环境有利于农业发展,由此导致的人口增加和耕地扩大,也加快了黄土高原的水土流失。第三个水土流失强烈期(清)属寒冷期,比较寒冷干燥的气候应不利于水土流失的发展,但由于当时生产力水平已比较先进,农业经济高度发达,人口急剧增加。在人口爆增的情况下,势必四处开荒,随着垦荒率愈来愈高,地表和植被均遭到严重破坏,在特定的条件下,人类活动的作用超过了气候的影响,水土流失明显加剧。这表明,随着社会生产力的不断提高,人类对自然环境的影响愈来愈大。今天,对于生态环境已经十分脆弱的黄土高原来讲,人类任何不理智的行为都可能导致不可弥补的严重后果。

表 4 黄土高原历代人类活动与水土流失

朝代	政治局面	生产活动	人口数量	人类活动	水土流失	气候
清	国家统一 社会安定	农业为主	猛增到 3400 万	滥耕滥垦	严重	寒冷期
明	军事对垒	半农半牧	增加	大量军屯民屯	加剧	寒冷期
元	统一	牧业发展	锐减	变农田为牧场	减弱	温暖期
宋	军事对垒	农业发达	大幅度增加	军屯民屯	加剧	寒冷期
唐	国家统一	农业发达	增加至	鼓励屯田	加强	温暖期
隋	社会安全	亦有牧业	1000 万	开荒增加		
北朝	民族迁移	牧业发达	减少至	开荒减少	减弱	寒冷期
魏晋	战乱不止		500 ~ 200 万	农田变牧场		
东汉						
西汉	国家统一	农牧业并举	增加至 880 万	允许开荒	加强	温暖期
秦	社会安定	牧业发达	人口少	保持自然面貌	微弱	

5 结 论

由于特定的地质地理条件,黄土高原的水土流失是必然的,不可抗拒的。第四纪以来,按其内在的发展规律,水土流失一直在时强时弱地进行着,其强度的变化主要取决于气候,一般来讲,强烈的水土流失往往出现在温暖湿润的暖期。植被对水土流失有一定的抑制,但不能抵消气候的主导作用。随着生产力的不断发展,人类活动对水土流失自然过程的正负影响将越来越明显。

参考文献

- 1 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 400 ~ 412
- 2 袁宝印. 黄土区沟谷发育与气候变化的关系. 地理学报, 1987, 42(4): 328 ~ 337
- 3 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985, 42
- 4 谢又予. 陕西蓝田地区新生界沉积环境. 陕西蓝田新生界会议论文集, 北京: 科学出版社, 1966. 89 ~ 123
- 5 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 181 ~ 190
- 6 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 106 ~ 109
- 7 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. 考古学报, 1973, (1): 15 ~ 38