

# 全球气候变暖对黄土高原 侵蚀产沙的影响

景 可 李凤新

(中国科学院 地理研究所)  
(国家计划委员会)

**提 要:** 本文讨论未来全球气候变暖引起黄土高原侵蚀产沙的变化趋势。在分析气候期与侵蚀期关系的基础上, 提出堆积期与侵蚀期都发生在干旱期, 未来全球气候变暖进入湿润期, 黄土高原侵蚀产沙趋于减少。

**主题词:** 气候变暖 侵蚀产沙 湿润期 干旱期 黄土高原

## 1 概 述

大气中CO<sub>2</sub>浓度的增加引起大众的关注。1986年大气中CO<sub>2</sub>浓度已达到345ppm, 比工业革命(1860年)前增加23%。预计到2040—2100年大气中的CO<sub>2</sub>浓度将达到工业革命前的2倍<sup>[1]</sup>。CO<sub>2</sub>浓度的增加, 一般认为会引起温室效应的加强, 使全球平均气温增加1.5—4.5°C<sup>[1]</sup>。也有学者认为全球气温至今未有明显变化。本文立论于前者。全球气温升高引起学术界的不同反响: 或认为气温升高后, 沿海的城市遭到海水浸没, 对社会经济活动及农业生态系统将产生重大不良影响; 或认为气温升高会造福于人类。笔者关心的是黄土高原近期的侵蚀产沙, 以及未来气候变暖, 侵蚀产沙将会产生怎样的变化。

自1970年以来, 除了个别年份以外, 黄河侵蚀产沙在减少(图1)。图1所示的泥沙过程线是一条波动的周期性变化曲线, 近20年处于波谷期。统计资料表明, 三门峡自1919年以来的年均

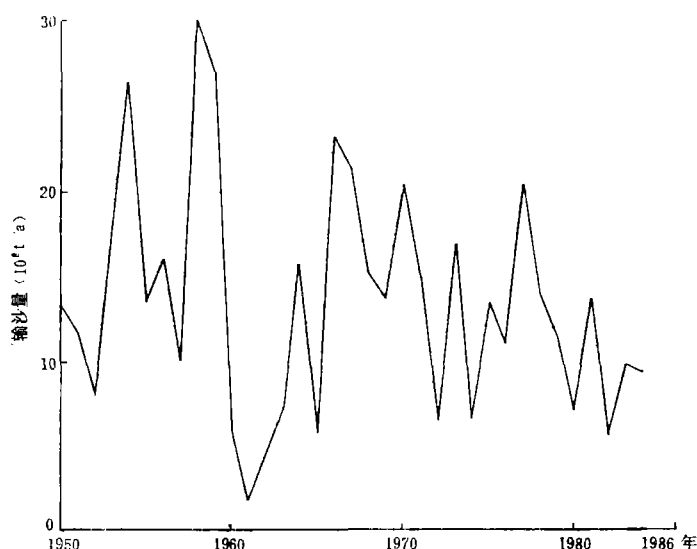


图 1 黄河输沙过程线(陕县)  
Sediment hydrograph at Shanmenxia Station  
of the Yellow River

表 1 河口镇至龙、华、河、淤降雨、径流及沙量变化<sup>〔2〕</sup>

Variations of the precipitation, runoff and sediment yield in  
Hekouzhen, Longmen, Huaxian, Hejin and Zhuangtuo Stations

项 目 \ 河 段		河口镇	河龙区间	华县	河津	淤头	龙、华、 河、淤
流域面积 (km <sup>2</sup> )		367898	129654	106498	38728	25154	66793
降 水 量 (mm)	1950—1969年平均 (I)	458.1	473	569	489	560	484.3
	1970—1984年平均 (II)	386.4	494	566	515	470	413.0
	差 值	-71.1	-69	-3	26	-90	-53.3
	减少百分数 (%)	-15.6	-14.5	-0.5	5.3	-16.0	-11.0
径 流 量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )	1950—1969年平均 (I)	235	73.4	90.8	17.8	8.74	446.3
	1970—1984年平均 (II)	245	47.0	72.6	8.9	8.66	380
	差 值	-10	-26.4	-18.2	-8.9	-0.08	-66.3
	减少百分数 (%)	-3.9	-36	-20.0	-50	-0.9	-14.8
输 沙 量 (10 <sup>8</sup> t)	1950—1969年平均 (I)	1.66	9.94	4.62	0.593	0.077	17.31
	1970—1984年平均 (II)	1.17	6.08	3.55	0.142	0.701	11.48
	减 少 值	-0.49	-3.86	-1.07	-0.451	-0.276	-5.83
	减少百分数 (%)	-29.5	-38.8	-23.2	-76.0	-28.2	-33.7

输沙量为 $15.05 \times 10^8 \text{t/a}$ 。1919—1953年的年均输沙量是 $15.30 \times 10^8 \text{t/a}$ ，而1971年至1985年是 $10.67 \times 10^8 \text{t/a}$ ，平均比前期减少33% (表1)。

对近20年黄河泥沙减少的原因，各家认识并无大的分歧。如洪业汤认为减少是由于太阳黑子周期性活动的结果<sup>〔3〕</sup>。张胜利认为是由于降水减少和水土保持共同作用的结果，两者在减沙中的地位差不多各半<sup>〔2〕</sup>。本文认为黄河主要泥沙来源地多沙粗沙区流域的水土保持措施并不多，对减沙所起的作用不大，近期减沙是由于降水减少所致，但降水总量的减少只是原因之一，而暴雨的减少才是根本原因。如1988年黄土高原的降水普遍不多，只是在河（口镇）龙（门）区间的秃尾河以北地区暴雨比前几年增加37%，下游则出现年输沙量 $15.16 \times 10^8 \text{t/a}$ ，超过年平均（ $13.29 \times 10^8 \text{t/a}$ ），下游河道沉积了 $4.8 \times 10^8 \text{t/a}$ 。可见暴雨减少是减沙的根本原因。鉴于黄河近期泥沙减少是由于降水的周期性减少所致，因而减沙也有周期性，可以推断目前这种减沙趋势不可能再长期继续下去。此一推断基于以下理由：

第一，近期黄土高原及黄河中游的自然环境不会发生根本变化。影响侵蚀的动态因素植被盖度和降雨，前者没有较明显的向好的方向变化，控制后者变化的天气系统也没有变化；降雨仍然存在丰枯相间的周期性变化（虽然不是很严格的周期）。黄河泥沙变化的周期一般在11年左右，现在已连续枯水年分达20余年，预计这种情况不会继续下去，多沙年一定会来到，泥沙的周期性增加是必然的。

第二，80年代以来，水土保持工作虽然有较快的发展，但是有些工程的效益未能持续保持，林草措施的减沙效益不足4%，而水库和淤地坝等主要拦沙工程的发展缓慢，原有的水库和淤地坝的拦沙效益已日益减退而趋于失去。如河龙间库容 $26.4 \times 10^8 \text{m}^3$ ，至1986年已淤

积 $9.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

第三, 目前基本农田建设几乎停顿。黄土高原现有的4 000万亩梯田都是70年代兴修的, 已年久失修; 新建梯田不多, 梯田的减沙效益衰减。

第四, 黄土高原重点产沙区是我国重要的能源重化工基地。这里有着丰富的煤炭资源与油气, 是我国重要的商品煤基地, 未来大规模开发势在必行; 这必将引起严重的侵蚀产沙。据研究, 仅神府煤田开发到2000年, 平均要增加入黄泥沙约 $1300 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。

综上所述, 近期本区降水周期性增加的可能性增大, 加之, 水土保持工作效益不明显, 而人为活动影响的日益加剧又在所难免, 那么, 近期侵蚀产沙的可能性增大, 就不能不引起大众的关注。

## 2 气候期与侵蚀期

本文所说气候期是指在一个较长的时段内, 平均气温相对高, 降雨相对比较大的时期为暖湿气候期, 反之为干冷气候期。侵蚀期是指在外营力作用下, 侵蚀相对强的时期为侵蚀期。侵蚀期与气候期是怎样的耦合关系, 即怎样的气候期最有利于侵蚀产沙, 至今认识不一。假定除气候之外的影响侵蚀的因素, 即坡度、坡长、地表组成物质等在不变的情况下, 侵蚀产沙最强时段的气候称之为侵蚀的“最佳气候期”。目前, 对侵蚀最佳气候期的看法概括起来有三种。一是认为侵蚀期与湿润期相对应, 即侵蚀的最佳气候期是湿润期<sup>[4]</sup>。第二种看法是侵蚀期不可能是湿润期<sup>[5,6]</sup>。文献[5]以黑垆土发育为依据, 认为黄土高原的黑垆土形成于湿润期, 此时有较多的降水, 相应的植被生长良好。由于侵蚀期黑垆土难以保存, 所以侵蚀期不可能是湿润期。文献[6]则明确提出侵蚀期发生在过渡期。理由是湿润期降雨多, 植被盖度大, 不利于侵蚀的发生; 而干旱期降雨少, 是黄土堆积期。由此推理, 侵蚀期只可能发生在过渡期。第三种是本文的看法, 侵蚀期既不发生在湿润期, 也不在过渡期, 而是干旱期, 即侵蚀期与堆积期同期。以下略作分析。

文献[6]得出侵蚀期发生在过渡期, 一个很重要的问题是混淆了气候期与气候带的区别, 误认为半干旱气候带就是气候期中的过渡期。气候带是空间概念。如果以往的气候变化是世界性的, 那么, 气候变化不仅在黄土高原存在20个左右的干湿交替, 全球各气候带都存在与黄土高原相同的干湿交替的气候波动。由图2可见, 在第四纪存在20个左右干湿交替的气候期, 每一个气候期经历的时间都不可能太长, 那么两个气候期之间的过渡期就更短, 而侵蚀期经历的时间是比较长的。第四纪只有四个侵蚀轮回期<sup>[7]</sup>, 显然时段上二者是不吻合的。此外, 过渡期的气候及与气候相关的自然要素都应具过渡性特点。当由湿润期向干旱期过渡, 由于降雨减少, 侵蚀力减弱, 侵蚀也应减弱。倘若考虑到作为抗蚀力的植被变化的滞后性, 即侵蚀力减弱, 而抗蚀力不变, 则侵蚀产沙在过渡期应减少。如果植被的变化与气候的变化同步, 即侵蚀力减弱的同时抗蚀力也在减弱, 由此侵蚀产沙也不会增加。以上仅从逻辑推理说明侵蚀期不是发生在过渡期。下面再从古土壤的形成作一说明: 比较公认的看法是黄土高原的古土壤形成于湿润期, 此期间黄土堆积比较弱, 侵蚀也比较弱。假设侵蚀期发生在过渡期, 那么在古土壤层的顶板或底板应有所反应。顶板与底板的古土壤发育不充分, 或

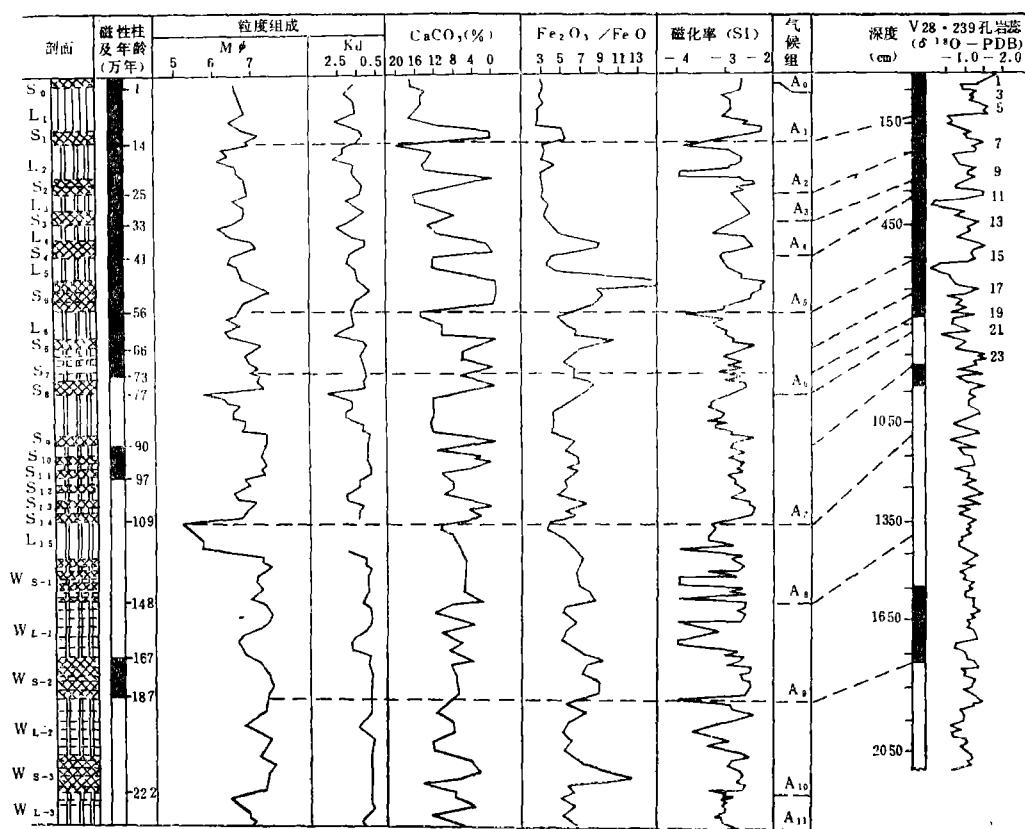


图2 240万年以来洛川黄土-古土壤气候指标变化曲线<sup>[4]</sup>

A graph showing the variation of the climatic index based on the Loess-paleosol sequences

古土壤颜色在土层的上、下与中间部分不协调。在过渡期如果侵蚀大于堆积，那么古土壤层顶板与底板不应是平行的，而应是辐合的。但野外所见古土壤上、下层面是平行的，层间颜色是协调的，可见侵蚀期不是发生在过渡期。

纵览上述，作者认为侵蚀期既不是发生在湿润期，也不在过渡期，而是发生在干旱期。也就是说侵蚀与堆积发生在同一个气候期内。理由是：第一，湿润期植被类型和植被盖度都比较好，能够抑制侵蚀产沙。第二，干旱期虽然降水总量减少，但是黄土高原所处的气候带没有大的变化，黄河中游重点产沙区仍处于半干旱气候带，仍在东亚季风的控制下，该区的降水特征没有根本的变化，降雨的集中性随着气候的干旱会表现得更突出。在气候干旱期由于植被覆盖度减少，而雨型又没有变化，所以侵蚀产沙不会减少。又据文献<sup>[9]</sup>的报道，黄河下游古河道在干旱期比湿润期发育；古河道发育的主要原因就是泥沙的增加和洪水强度的增强，前者反映侵蚀产沙的增加，后者表征降雨的集中度增加。

侵蚀与堆积既然是同期，那么，在黄土高原保留如此之厚的黄土，应作如何解释？试想当侵蚀速率大于堆积速率，则黄土不复存在。只有侵蚀速率小于堆积速率才可以积累巨厚的黄

土;更为重要的是侵蚀与堆积在时间上是不同步的,而且发生在不同地貌单元上。时间若以年为单元,堆积发生在冬春季,尤其是春季,侵蚀是发生在夏秋。最为关键的是所处空间位置不同,侵蚀主要发生在沟谷,而堆积主要发生在沟间地。尽管黄土堆积时沟谷与沟间接受的粉尘量的机会均等,在沟谷因坡度大,侵蚀强,保存黄土的条件差;而在沟间地因坡度缓,黄土保存条件好。由此在沟间地可以保留较厚的黄土。

从单要素出发论述侵蚀产沙的最佳气候期,显然是不全面的。众所周知,侵蚀的发生发展是众多因素相互作用相互制约的结果。尽管降雨和植被是影响侵蚀的重要因素,但不是因果关系。如果从长系列时段着眼,那么流域的侵蚀强弱与地貌发育阶段有关,在地壳抬升期侵蚀强,地壳的相对稳定期侵蚀弱。此外,黄土高原幅员辽阔,地处不同的气候带,在同一个气候期内,不同气候带内抑制侵蚀与促使侵蚀的因素并不是都同时等量变化。如在湿润期,黄土高原南部植被生长就可能比较好,就能更大地抑制地方的侵蚀产沙;而在黄土高原的北部在湿润期降雨也要增加,但降雨总量仍大大小于南部,同时雨型又未改变,即使植被盖度有所增加,抑制侵蚀产沙的程度仍不如黄土高原南部。现在所见黄土高原南部的古土壤就十分发育,而黄土高原北部古土壤就很少见到。由此可见,在黄土高原虽然存在相对一致的侵蚀期和成壤期,但区域差异性仍很大。

### 3 未来气候变化以及黄土高原的侵蚀产沙

根据近100年来全球平均近地面气温的分析,气温呈现不断上升的趋势,全球平均增加 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ ,北半球大陆地区气温上升 $1^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。中国的气温变化趋势与北半球大体一致<sup>[1]</sup>。引起气候变化的原因,一是自然要素的变化,二是人类活动的影响。虽然现在还不能完全肯定近百年的气候变化是由于人类活动所引起,尤其是 $\text{CO}_2$ 的增加所引起,但是越来越多的研究表明,这种温室效应的增加对大气的增温起着非常重要的作用。

全球温室效应的增强,如何影响黄土高原的侵蚀产沙,以下试作趋势性分析。

#### 3.1 未来降水变化

诸气候因子中影响侵蚀产沙变化的首先是降水的增减。如果把黄土高原作为一个封闭系统考虑,那末,毫无疑问由于增温而蒸发量相应增加,与之相关的干燥度也要增加。但是,作为开放系统,在外界因素影响下,黄土高原未来增温时降水的影响,应从以下两方面来讨论。

第一,据气候模型计算, $\text{CO}_2$ 倍增时,我国年平均气温将升高 $2.69^{\circ}\text{C}$ <sup>1)</sup>;全国六个区中以西南区升温最大,为 $3.4^{\circ}\text{C}$ ;华南最少,为 $2.4^{\circ}\text{C}$ 。年降雨量全国呈增加趋势,华南增加最多,为 $251.5\text{mm}$ ;西北最少,为 $77\text{mm}$ <sup>1)</sup>。据赵宗慈选用美国4家、英国10家全球气候模型,模拟 $\text{CO}_2$ 倍增时对我国近地面气温、降水及土壤温度的影响,从他的模拟等值线图上可知我国西北地区冬季升温可达 $3-6^{\circ}\text{C}$ ,夏季升温 $2-6^{\circ}\text{C}$ ;冬季降水量和土壤湿度均有增加;夏季则有3个模型认为增加,有2个模型不同地区有增有减<sup>[8]</sup>。总之模拟结果认为 $\text{CO}_2$ 倍增,黄土高原降雨增加的可能性比较大。

1) 丁一江等,未来30年气候对我国农业有何影响,中国科学报,1990.2.22.

第二,古气候研究认为黄土高原随着增温雨量增加。有以下两点事实:1.千年尺度的古气候资料表明,全球高温期亚非季风系统向西向北扩大,使亚洲中部很大范围内较今湿润得多<sup>1)</sup>。2.末次冰期最盛期气温最低,CO<sub>2</sub>含量仅200ppm,到全新世高温期(6000a.B.P)CO<sub>2</sub>增加到270ppm<sup>[10]</sup>。按一般估计,全新世高温期的全球气温比现在高2—4°C。根据华北平原和内蒙古全新世地理环境研究,证实冷期与干燥相对应,暖期与湿润相对应<sup>[11]</sup>。黄土高原普遍发育一层黑垆土或泥炭层。我们分别在窟野河上游中几、中游解家堡,宁夏清水河的三营、靖边的柳树湾、榆林的芹河乡,内蒙古的东胜等地的黑垆土或泥炭中采集样品作了<sup>14</sup>C分析,结果见表2。表2表明黑垆土和泥炭都是形成于全新世高温期。可见黄土高原的高温与湿润同期,由此推断未来全球增温,黄土高原比现在要湿润,也就是降雨比现在要增多。

表2 黄土高原部分地区黑垆土、泥炭<sup>14</sup>C年龄\*

The ages of peat and black loam samples dated by the <sup>14</sup>C techniques

样号	样 点	样 品	年 代	地貌部位
宁 <sub>1</sub>	清水河三营	泥 炭	5706±160	河流阶地
三 <sub>1</sub>	窟野河中几	黑垆土	5673±102	红土丘陵
二 <sub>2</sub>	窟野河解家堡	黑垆土	4986±235	沙 地
杏 <sub>1</sub>	无定河靖边	沙 炭	5115±100	河流阶地
砂 <sub>1</sub>	东胜准格尔昭	黑垆土	5587±79	河 滩 地
砂 <sub>2</sub>	榆林芹河乡	黑垆土	8535±115	红土砂盖区

\* 样品由中国科学院地理研究所金力先生分析。

### 3.2 未来侵蚀产沙的趋势

基于上述侵蚀产沙的最佳气候期以及未来全球增温黄土高原的气候状况的讨论,以下试述黄土高原侵蚀产沙的趋势。

黄土高原位于东亚季风影响区的边缘,未来增温东亚季风虽然要加强,向西北推进,增加高空空气的湿度。但是由于整个环流系统不会改变,仍具有季风气候特征。降水仍将保持现在这种季风雨的特性。由此侵蚀产沙量的增加或减少取决于下垫面的变化。

降雨增加以后,下垫面将要发生很大变化,植被在不同的气候带将有不同的变化:

1. 现在的庆阳—延安—离石一线以南地区的森林草原和落叶阔叶林带由于降雨量的增加,地表植被的生境条件将发生相应的变化;不但植被的郁闭度也要逐渐增加,林相向高层次发展,植物群落更为复杂。

2. 现在的庆阳—延安—离石一线以北地区同样也因雨量的增加,温度的升高使气候带的北缘线向北移,植物的生境条件也同样会逐渐改善,植被盖度、植物群落都有相应的变化;但由于受地表形态及地表母质的影响,植被不会发生根本性的变化,尤其是重点侵蚀产沙区植被盖度更不会发生质的变化。这是由于:(1)几十年以后,由于人口不断地增加,土地的垦殖指数和利用强度不会明显的下降。(2)几十年以后支离破碎的地形、切割很深

1) 朱米东,苏联气候学家预言温室效应会造福人类,中国科学报,1989.11.25.

及陡峻的沟谷依然存在。(3) 黄土(沙黄土)的性质不会改变。由于增温,地表的物理风化将会加强。(4) 几十年以后这里成为重要的能源重化工基地,煤炭及其他矿产资源的开发,人类活动加剧。

综上所述,黄土高原因未来增温引起的侵蚀产沙趋势是,1.庆阳—延安—离石以南地区由于植被盖度的增加,区域侵蚀产沙将会有减少。2.庆阳—延安—离石一线以北地区由于受其他条件的局限,侵蚀产沙不会明显的减少;但如果人们能够充分地利用这样一个高温湿润期的机会,大力调整土地利用结构,调整产业结构,争取大范围的减沙乃是可能的。3.由于重点产沙区除降雨以外的环境因素不会发生根本性的变化,因而入黄泥沙的减少不会太明显。

全球气候变暖对环境的影响是当今热点课题。本文是在气候变暖结论的前提下论述了黄土高原未来侵蚀产沙的变化趋势,因而是属讨论性文章,期待引起行家的关注。拙文中定有不妥和错误之处,欢迎读者赐教。

### 参 考 文 献

- (1) 王明星等.全球大气化学和未来气候变化趋势.见:中国科学院地学部第二次学部委员大会文集.北京:科学出版社,1988.
- (2) 张胜利等.黄河中上游水土保持及治理减沙效益初步分析.人民黄河,1986,(1):
- (3) 洪业汤等.黄河泥沙的环境地质特征.中国科学,1990,(11):
- (4) 刘东生等.黄土与环境.北京:科学出版社,1985.
- (5) 陈永宗.土壤侵蚀强度及其区域特征.见:黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径.北京:中国科学技术出版社,1991.
- (6) 唐克丽等.土壤侵蚀与第四纪生态环境演变.第四纪研究,1991,(4):
- (7) 戴英生.从黄河中游的古气候环境探讨黄土高原水土流失.人民黄河,1980,(4):
- (8) 赵宗慈.模拟温室效应对我国气候变化的影响.气象,1988,(3):
- (9) 吴忱等.华北平原古河道研究论文集.1991.北京:中国科学技术出版社,1991.
- (10) 张青松.南极地区晚第四纪环境及其与全球变化的关系.第四纪研究,1990,(2):
- (11) 李容全等.内蒙古高原湖泊与环境变迁.北京:北京师范大学出版社,1990.

# EFFECT OF GLOBAL CLIMATIC WARMING ON THE EROSION AND SEDIMENT YIELD ON THE LOESS PLATEAU

Jing Ke     Li Fengxin

( Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State  
Planning Commission of the People's Republic of China )

**Subject terms:** climatic warming, erosion and sediment yield, wetter  
period, dryer period, the Loess Plateau

## Abstract

For the recent years, the erosion and sediment yield on the Loess Plateau tend to decrease obviously, as a result of the periodical reduction in precipitation. Starting from the condition of global climatic warming in the future, this paper discusses the tendency of variation in the erosion and sediment yield on the Loess Plateau. Based on the correlation between the variations in erosion and climate in history, it has been identified that both the strong erosion and the deposition occurred during dry periods. Because of the oncoming global climatic warming, the Loess Plateau will go into a wetter period, with an increasing precipitation. Consequently, the cover of vegetation will increase, leading to a reduction in erosion and sediment yield. Due to a limited environmental capacity and an over-laden population, the erosion and sediment yield will still remain at the present level.