

# 黄土高原水土流失与土壤退化的研究

唐克丽 张仲子 孔晓玲 查 轩 史瑞云

(中国科学院西北水土保持研究所)

## 提 要

本文研究了黄河干支流悬移质泥沙(采自1983年)和流失地土壤的颗粒组成与养分含量以及它们之间的相互关系。结果表明,黄河下游河床淤积的泥沙以0.05—0.25毫米的颗粒为主,大于0.25毫米的颗粒组成低于1%,它们与流失地耕层土壤、黄土沉积物及风积砂的颗粒组成类同。皇甫川与窟野河的泥沙中可见到产自基岩剥蚀物的大于0.25毫米的粗颗粒,但在黄河干流中基本未见。为进一步查明黄河下游河床粗颗粒泥沙的来源,应划分大于0.25毫米粒径的粗颗粒。黄河大部分支流泥沙中的有效养分接近耕层的低限或平均水平,其中速效磷为耕层含量的2倍以上。加速坡耕地水土流失的治理,对防止土壤养分流失和减少入黄泥沙,具有重要的实际意义。

黄土高原位于黄河中游地区。长期来,黄土高原的水土流失使黄河年平均输沙量达16.55亿吨(1919—1980年),其中约有4亿吨泥沙淤积在下游河床,约有12亿吨泥沙倾泻入海;后者虽未构成对河床淤积的威胁,但却使肥沃的土层和有效养分大量丧失。

鉴于治理黄河的紧迫性,人们的注意力多集中在泥沙的数量上,以及河流泥沙输移对河床淤积的影响。关于河流泥沙的组成,及其对流失地土壤退化的评价,尚未引起足够的重视。

流域出口的产沙,来自流域范围的坡面侵蚀与沟谷侵蚀。钱宁、龚时阳等<sup>[1][2]</sup>从河流泥沙中>0.05毫米粗颗粒的含量及其对下游河床淤积的威胁,提出了以粗泥沙产沙区为治理重点。本文通过分析研究河流泥沙的颗粒组成与养分含量,评价水土流失造成土壤退化的影响,并探讨泥沙来源区的土壤侵蚀方式、产沙部位、产沙地层及其物质组成,为进一步拟定治理方案提供依据。

土壤侵蚀与产沙的过程,不仅是分散、剥离和搬运泥沙量的过程,而且随同吸附或携带一定的营养元素等化合物。据研究初报<sup>[3]</sup>,随同水土流失,元素在迁移过程中发生一定的变化。速效氮为不稳定的指标,损失量较大;全磷与全钾的含量,无论对熟化和非熟化的黄土指标都不敏感。本文以颗粒组成、有机质、全氮、水解氮、速效磷与速效钾含量作为指标,研究比较河流泥沙与流失地土壤之间的相关性,分析泥沙来源与土壤退化问题。

泥沙样品采自1983年汛期不同流量,取2—3次代表性流量。由各个水文测站按其规范标准取悬移质泥沙样,在相对水深0.5米处(个别为0.9米处)。土样的采集以坡耕地表层土为主,结合采集遭受侵蚀的不同地面组成物质。

测定的项目中，颗粒组成按吸管法，有机质按丘林法，全氮按混合催化剂半微量开氏法，水解氮按高锰酸钾氨试剂比色法，速效磷按Olsen法，速效钾按醋酸铵浸提火焰光度计法。

## 一、黄河主要支流泥沙和流失地土壤颗粒组成的分析研究

泥沙与土壤的颗粒组成分别列于表1和表2。前者为1983年汛期不同流量的平均值。土样则

表1

黄河主要支流泥沙的颗粒组成 (1983年)

河流名称	测站名	各级颗粒 (mm) 的百分率 (%)							
		1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001	<0.01	>0.05
黄河干流	三门峡	0	20.43	62.09	2.86	2.46	12.06	17.48	20.43
黄河干流	三门峡坝地淤泥	0.25	71.61	19.19	1.24	3.19	4.43	8.86	71.86
皇甫川	皇甫川	10.56	31.76	24.64	4.36	9.98	18.72	33.03	42.33
窟野河	温家川	34.19	51.70	7.35	0.34	4.05	2.37	6.76	85.89
佳芦河	申家湾	0.21	22.21	54.33	3.93	6.17	13.15	23.25	22.42
大理河	绥德	0.29	12.34	61.78	6.29	4.84	14.47	25.60	12.63
三川河	后大成	0.87	6.60	63.75	5.15	5.37	17.94	28.46	7.47
清涧河	延川	0	11.79	62.00	6.35	5.11	14.82	26.27	11.79
延河	甘谷驿	3.36	15.16	56.93	6.19	4.94	13.43	24.54	18.52
洛河	交口	0.20	9.24	70.25	5.88	5.07	11.32	22.26	9.44
汾河	河津	0.16	7.42	44.21	13.03	13.72	21.46	48.21	7.58
渭河	咸阳	0.36	8.11	44.86	10.98	14.14	21.57	46.69	8.47

表2

黄土高原主要地区耕层土壤的颗粒组成

采样地点	所属河流	各级颗粒 (mm) 的百分率 (%)							
		1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001	<0.01	>0.05
府谷	皇甫川	1.03	51.04	24.61	2.70	7.84	8.09	18.63	52.07
神木	窟野河	0.38	49.70	33.49	2.70	6.29	7.44	16.43	50.08
榆林	无定河	0.84	42.40	36.50	2.67	4.70	12.90	20.27	43.24
子洲	大理河	0.15	25.63	57.73	2.52	5.04	8.92	16.48	25.78
离石	三川河	0.40	32.75	44.10	6.63	8.23	7.37	22.23	33.15
子长	清涧河	0.20	25.57	61.98	1.82	2.96	7.48	12.26	25.77
延安	延河	0	20.88	55.67	5.57	8.59	9.09	23.25	20.88
黄陵	洛河	1.03	16.04	45.65	9.26	19.01	8.66	36.93	17.07
长武	泾河	0.24	4.46	53.14	13.96	21.65	6.55	42.16	4.90
天水	渭河	0.25	3.28	48.07	11.78	9.34	27.69	48.81	3.53

采自代表各个流域的坡耕地耕层，均为更新世晚期的马兰黄土(Q<sub>3</sub>)，强度侵蚀轻度熟化的耕种土壤。黄河支流泥沙与黄土高原流失地土壤的颗粒组成，都显示由北向南(表中的顺序排列)逐渐变细的规律。除皇甫川与窟野河的泥沙中含有>0.25毫米的颗粒外，其他各支流泥沙中该粒径极少，与流失地黄土粒径的分布趋势基本一致，均以粗粉砂0.05—0.01毫米的颗粒与0.25—0.05毫米的细颗粒占优势。说明黄河大部分支流的泥沙主要来源于粉砂质和细砂质黄土，也就是黄土高原水

土流失区地面覆盖最广的马兰黄土 ( $Q_3$ )，另一方面，河流泥沙中 $>0.05$ 毫米的粗颗粒含量，略低于流失区的土壤含量，细颗粒含量相对增多。一方面说明，河流泥沙在输移过程中，粗颗粒有沉积，细颗粒相对富集；另一方面决定于产沙的地形部位和产沙地层。泥沙中的细颗粒也有来自更新世早期沉积的离石黄土 ( $Q_2$ ) 与午城黄土 ( $Q_1$ )，该地层为沟谷侵蚀输入河流的主要物质，其细颗粒含量往往高于马兰黄土 (表 3)。

表 3

黄土高原地区不同地面物质的颗粒组成

采样地点	地面物质	各级颗粒 (mm) 的百分率 (%)							
		1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001	<0.01	>0.05
准格尔旗	耕种砂岩风化物	26.96	58.77	6.20	0	1.65	6.41	8.06	85.73
府 谷	砂岩风化物	47.19	32.54	9.68	0.39	4.14	5.97	10.30	79.73
府 谷	泥质页岩风化物	1.48	4.45	13.05	20.52	39.03	21.52	81.07	5.93
准格尔旗	流沙堆积物	3.52	88.82	1.67	0	0.41	5.57	5.98	92.07
靖 边	离石黄土 $Q_2$	0	8.43	49.31	7.25	5.22	11.18	23.65	8.43

关于皇甫川、窟野河泥沙中的颗粒组成， $>0.05$ 毫米颗粒的含量最多，占42—86%，但其中 $>0.25$ 毫米的颗粒所占比重为10—34%。这部分粗颗粒显然不是来自黄土，而是来自当地的砂岩风化物 (表 3)。在皇甫川流域，砂岩裸露的丘陵沟壑区占流域总面积的32.7%，在黄土丘陵区与片沙覆盖的黄土丘陵区的沟谷部位，都出露强烈剥蚀的砂岩地层，构成了河流泥沙的重要组成部分。

从表 1 可以看出，在黄河下游三门峡的悬移质泥沙，以及三门峡坝地淤积的泥沙 (0—20厘米) 中，均未见 $>0.25$ 毫米的粗颗粒，0.25—0.05毫米的粒径在河流泥沙中占20%，在坝地的淤积物中高达71.41%。由此看来，皇甫川与窟野河所挟带的大于0.25毫米的粗颗粒，在汇入黄河的输移过程中，对下游河床淤积影响不大。为查明下游河床粗颗粒泥沙的来源，在确定大于0.05毫米粒径的基础上，需进一步划分大于0.25毫米的粒径，这是确定黄土、风积产沙地层与基岩产沙地层的重要分界。下游河床淤积的粗颗粒以0.25—0.05毫米占优势。该部分粗颗粒主要来自黄土高原广为分布的黄土，即更新世晚期的马兰黄土 ( $Q_3$ ) 沉积物为主要产沙地层；其次为黄土高原水蚀风蚀区的片沙与流沙堆积物，它们常随同水蚀或风蚀输入黄河。该0.25—0.05毫米的粗颗粒含量自南向北逐渐增多，自延安以北为主要产沙区。马兰黄土与片沙是构成黄土丘陵区梁峁坡面的主要地面组成物质。下面我们再从河流泥沙中的养分含量，进一步分析产沙的地形部位，以及土壤流失与养分迁移的关系。

## 二、黄河主要支流泥沙中的有效养分

以流失区耕层土壤为对照，比较各支流泥沙中全氮、速效磷、速效钾的含量 (见图 1—3)。这三种有效养分的含量呈现区域性特征，按各支流的地理分布，基本上自北向南有增高趋势，与颗粒组成分布规律大体一致。河流泥沙中全氮的含量大部分接近或超过土壤含量的低限值，部分接近平均值，渭河则高于上限值；速效磷的含量在泥沙中有明显的富集现象，大部分超过土壤的上限值，甚至达 2—3 倍；速效钾的含量一般接近土壤含量的平均值，个别略低或偏高。

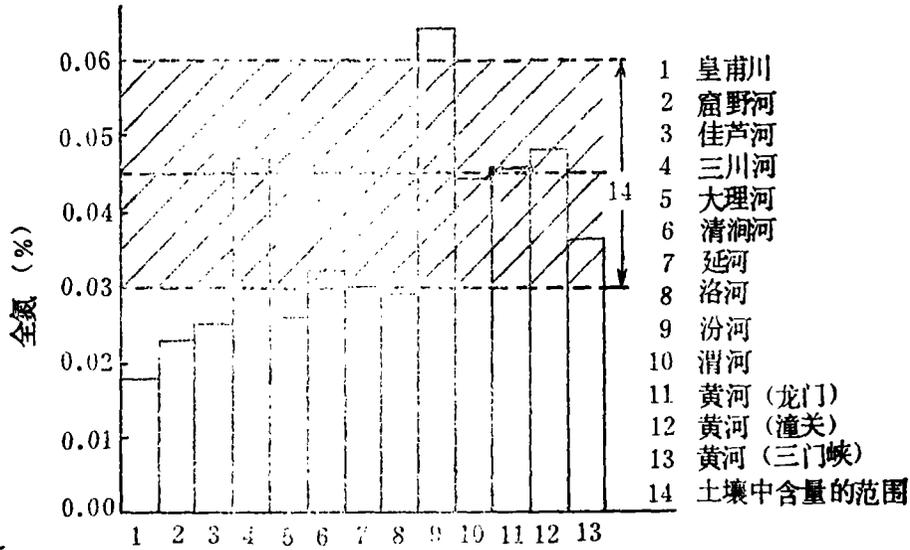


图1 黄河主要支流泥沙中与流失地土壤中全氮含量的比较

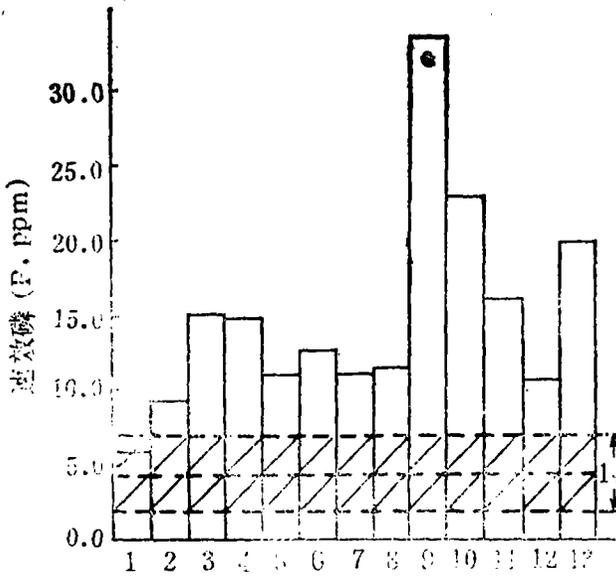


图2 黄河主要支流泥沙中与流失地土壤中速效磷含量的比较

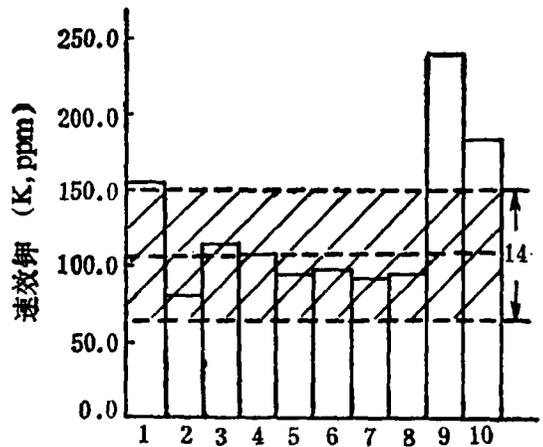


图3 黄河主要支流泥沙中与流失地土壤中速效钾含量的比较

现再以河流泥沙与流失地土壤中同一物质的比值，即富集比<sup>[4]</sup>进行讨论（表4）。全氮的富集比为0.36—1.24，多数超过0.5；水解氮和速效钾的富集比均为1.0左右，其中水解氮个别达2.0以上；速效磷的富集比值最大，为0.99—4.47，其平均值为2.7。黄河干流三门峡站的河流泥沙中，上述几种养分的富集都比较明显，尤其是速效磷的富集比达3.89。说明河流泥沙输移过程中，愈接近下游，养分的富集愈明显。

从河流泥沙养分富集的情况来看，说明流失地的坡面侵蚀，尤其是坡耕地的侵蚀比较严重，甚至占主导地位。这与上述颗粒组成分布的特征基本一致。其产沙的地形部位均以坡面为主，产

表4 河流泥沙与流失地耕层土壤的颗粒组成与养分含量的富集比 (泥沙/土样) (1983年)

流域名称	颗粒组成		全氮	水解氮	速效磷	速效钾
	>0.05(mm)	<0.01(mm)				
皇甫川	0.80	1.77	0.61	1.43	1.30	1.82
窟野河	1.71	0.41	0.58	2.59	3.25	1.24
大理河	0.49	1.55	0.76	1.36	2.17	1.22
三川河	0.23	1.23	1.24	2.46	0.99	0.99
清涧河	0.45	2.14	1.14	1.11	2.85	1.50
延河	0.88	1.06	0.75	0.93	4.47	0.96
洛河	0.55	0.60	0.36	0.69	3.17	0.69
渭河	2.39	0.96	0.75	0.97	3.40	0.83
黄河(三门峡)	0.72	0.72	0.82	1.52	3.89	—

沙地层主要为更新世晚期的黄土沉积物，按土地利用方式则以坡耕地为主。据我们对延河支流杏子河流域的典型调查研究<sup>[6]</sup>，该地区坡耕地流失量可占流域总输沙量的60%以上，大于25°以上陡坡耕地的土壤侵蚀模数每平方公里高达3万吨以上。无论就保护土壤、防治养分流失或减少黄河下游河床粗颗粒的泥沙淤积，都应把坡面侵蚀，尤其是坡耕地的侵蚀作为治理重点。

泥沙中<0.01毫米的细颗粒，在大部分支流的泥沙中都有富集现象。泥沙中养分的含量与其>0.01毫米细颗粒的含量呈直线相关，随细颗粒含量的增多，全氮、速效磷、速效钾的含量呈现递增的趋势。经统计分析出的回归方程，全氮为 $y = 0.0075 + 0.0009x$ ， $r = 0.7427$ ；速效磷和速效钾为 $y = 23.40 + 3.638x$ ， $r = 0.8722$ ；(图4—6)。相关系数均达到极显著水准。

从资料中可以看出，尽管泥沙中细颗粒的绝对含量与流失地土壤基本相等，但质量发生了很大

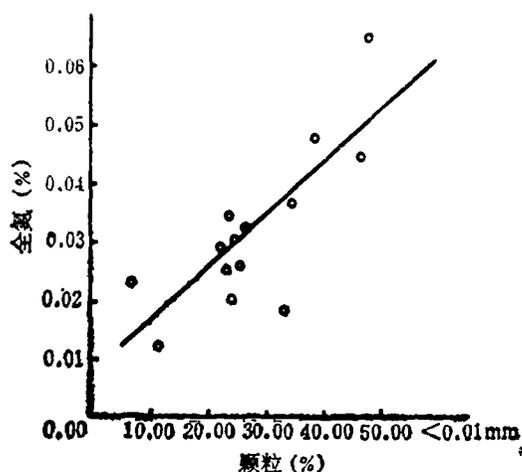


图4 泥沙中全氮含量与<0.01毫米颗粒含量间的回归曲线

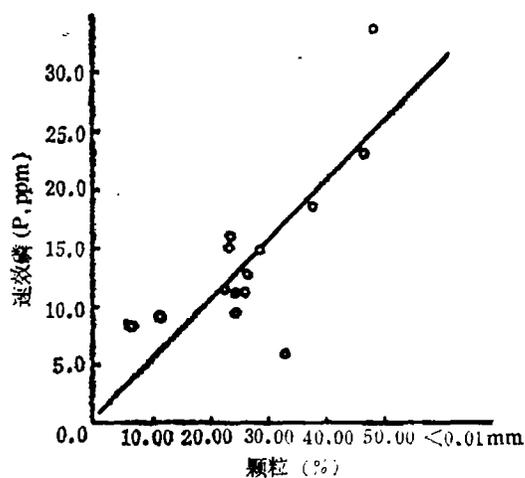


图5 泥沙中速效磷含量与<0.01毫米颗粒含量间的回归曲线

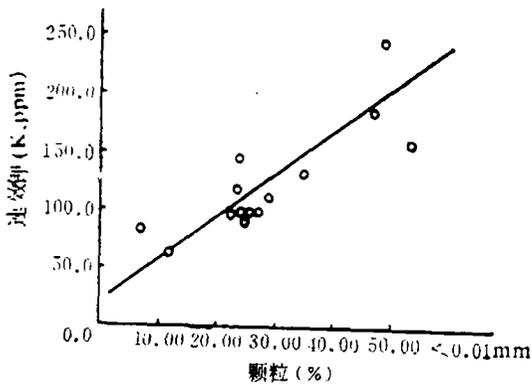


图6. 泥沙中速效磷含量与<0.01毫米颗粒含量间的回归曲线

研究结果,我们认为,可把泥沙中速效磷的含量作为说明水土流失对影响土壤退化的重要指标;同时说明流失地耕层土壤增施磷肥的重要性。

### 三、结 论

黄河干流及其大部分支流泥沙中的颗粒组成与养分含量,接近各自流失地的耕层土壤,坡耕地的水土流失为输入黄河泥沙的重要来源。

流失地黄土沉积物及黄河多数支流的泥沙,其颗粒组成均以0.25—0.05毫米和0.05—0.01毫米的粒径占多数,大于0.25毫米的颗粒含量极微,为1%以下。黄河下游河床淤积的泥沙中,0.25—0.05毫米的颗粒占71%,大于0.25毫米的颗粒未见。由此分析,黄土高原地面广为分布的更新世马兰黄土,尤其是含有大量细砂颗粒的沙黄土,为黄河泥沙的主要来源。

皇甫川与窟野河泥沙的粗颗粒中包含一定数量的大于0.25毫米的颗粒,产自流失地的基岩剥蚀物,养分含量明显低于耕层水平,说明泥沙主要产自沟谷,该颗粒组成对黄河下游河床淤积影响不大。对>0.05毫米的粗颗粒中,进一步划分大于0.25毫米粒径,对查明产沙地层有重要意义。

河流泥沙中全氮的含量平均为0.04%,速效磷的含量平均高出流失地土壤含量的2倍以上。一般随泥沙中细颗粒含量的增多,有效养分的富集量增加。水土流失不仅输入黄河大量泥沙,而且导致大量养分流失,土壤严重退化。

本研究的泥沙样品采自1983年,基本上代表了偏枯水年的产沙与泥沙输移规律,坡面侵蚀较突出,粗颗粒含量偏低,养分含量较高,故防治坡耕地的侵蚀,包括防治已开垦的谷坡侵蚀应列为重点。关于不同降雨不同流量情况下,土壤退化及河流泥沙颗粒组成及养分的变化,将在下文讨论。

### 参 考 文 献

- [1] 钱宁、王可钦、阎林德、府仁寿:“黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响”《河流泥沙国际学术讨论会论文集》(第1集),1980。
- [2] 龚时曙、熊贵枢:“黄河泥沙的来源和输移”,《河流泥沙国际学术讨论会论文集》(第1集),1980。
- [3] 唐克丽、张仲子、孔晓玲、史瑞云、黄少燕:“黄土高原水土流失与土壤退化研究初报”,《环境科学》,第5卷第6期,1984。
- [4] Walling, D. E.: Soil Erosion and Sediment Yield, 1980。
- [5] 唐克丽、郑世清、席道勤、孙清芳、刘炳武:“杏子河流域坡耕地的水土流失及其防治”,《水土保持通报》,1983年第5期。

的变化,即泥沙对养分的吸附和富集增大了。例如延河与渭河细颗粒的富集比都接近1.0,速效磷的富集比高达4.47与3.40。在泥沙与流失地土壤中的细颗粒含量基本相等的情况下,悬移质泥沙对速效磷的富集为土壤的3—4倍。进一步证实,表层肥沃土壤为产沙的重要物质来源,其侵蚀方式除产沙量较大的沟蚀外,同时产生溅蚀和片蚀的细颗粒悬移过程,随之养分的富集增多,在河流输移过程中又进一步相对富集。如果以泥沙的测定值来推算速效磷的流失率,则大大超过土壤的测定值。通常以后者作为土壤养分流失的指标。根据本研究

# A STUDY OF SOIL LOSS AND SOIL DEGRADATION IN THE LOESS PLATEAU

*Tang Keli    Zhang Zhongzi    Kong Xiaoling*

*Cha Xuan    Shi Rueiyun*

*(Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica)*

## Abstract

In this paper, the components of particle sizes and the contents of soil nutrients are used to compare correlation between river sediments and soils from the eroded fields, as well as to assess the soil degradation by soil erosion. The results studied are also used to demonstrate the source and stratum of sediment yield in the drainage area.

The mechanical composition of the sediments in the Yellow River and its most tributaries is similar to that of loess deposits in the eroded areas with coarse silts (0.05—0.01mm) and fine sands (0.25—0.05mm) in the predomination. Coarse particles larger than 0.25mm couldn't be seen in the sediments of the Sanmen Gorge dam-site and little amounts there are in the loess deposits. The river sediments of the Huangpuchuan Stream and the Kuyehe River contain considerable amount of coarse particles larger than 0.25mm originated from the local denudated sandrock. Coarse particles larger than 0.25mm can be used to distinguish the stratum of sediment yield.

The amount of total nitrogen contents of river sediments in most tributaries is 0.04% on the average, which is close to or higher than the lowest value of those in soils. The contents of available phosphorous in sediments are obviously enriched, and most of them is over those in soils, some even as many as 2—3 times. The enrichment ratio of available phosphorous can be used as an important index to illustrate soil degradation caused by soil erosion.

The data of river sediments are obtained in 1983 with lopsided dry season.