

泾河典型流域水沙变化及其景观格局分析

王兮之<sup>1</sup>, 索安宁<sup>2</sup>, 洪 军<sup>2</sup>, 毕晓丽<sup>2</sup>, 葛剑平<sup>2</sup>

(1. 佛山大学资源环境系, 广东 佛山 528000; 2. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

摘 要: 以黄河中游泾河流域的 3 个子流域为研究对象, 借助 GIS 和 RS 技术与基本的水沙数据, 分析各子流域水沙变化特点与土地覆被空间格局特征。结果表明: 流域北部的环江上游、合水川与汭河的径流量和输沙量以及土地覆被空间格局分布差异显著; 30 多年来环江上游的径流量增加了 60% 而输沙量却增加了 1 倍多, 汭河的径流量减少了约 40% 而输沙量却减少到 1/5, 合水川的径流量基本保持不变而输沙量略有增加; 环江上游只有 6 种土地覆被类型以低密度草地和半荒漠草地为主, 汭河有 9 种土地覆被类型以林地、农田和高密度草地为主, 合水川有 7 种土地覆被类型以林地和郁闭灌丛为主。

关键词: 流域; 径流量; 输沙量; 土地覆被; 景观格局

中图分类号: P332. 5; P901

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006) 04-0260-04

Analysis of Runoff and Sediment Variation and Landscape  
Pattern of Typical Watersheds in Jinghe Basin

WANG Xi-zhi<sup>1</sup>, SUO An-ning<sup>2</sup>, HONG Jun<sup>2</sup>, BI Xiao-li<sup>2</sup>, GE Jian-ping<sup>2</sup>

(1. Department of Resources and Environment Science, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China;

2. College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** 3 sub-watersheds in the north of Jinghe basin were selected as study areas. Based on the runoff and sediment data of 3 hydrological stations and the precipitation data, classified MODIS image data, all of these were analyzed runoff and sediment variation of watersheds and its land cover pattern. Results show that the visible difference of runoff yield and sediment yield and land cover pattern were found in the up of Huanjian, Heshuichuan and Ruihe. The runoff yield increased 60% but sediment yield increased double of the up of Huanjian, runoff yield decreased 40% but sediment yield decreased five times of the Ruihe, runoff yield had no change but sediment yield increased slightly of the Heshuichuan over 30 yeays. The up of Huanjiang only had 6 land-cover types and dominated by low density grassland and semi-desert grassland, 9 land-cover types and dominated by forest, cropland and high density grassland of Ruihe, but 7 land-cover types and dominated by forest and closed shrub of Heshuichuan.

**Key words:** watershed; runoff yield; sediment yield; land-cover; landscape pattern

土地利用/土地覆被变化(LUCC)及其时空格局特征是  
目前全球变化研究的重要问题之一<sup>[1, 2]</sup>。泾河流域自然环境  
条件差, 植被破坏严重, 尤其是泾河流域北部是黄河中游最  
主要的水土流失、生态环境失衡最严重的地区<sup>[3, 4]</sup>。从流域  
尺度上分析泾河及其子流域的水沙变化对治理水土流失具  
有非常重要意义。而对流域的土地覆被空间格局的研究对于  
更好地认识水沙变化特征以及流域生态系统稳定性与恢复  
重建具有重要的现实意义。

黄河中游自古就有“泾渭分明”之说, 即由于泾河与渭河  
的径流量和输沙量的差异显著造成了这种自然现象, 同样在  
泾河流域内部水沙异源地现象也十分突出, 尤其是在泾河流  
域北部。本文以泾河流域的 3 个子流域为具体研究对象, 借  
助 GIS 与 RS 以及景观格局指数的计算, 分析各子流域多年  
来的水沙变化特点与土地覆被类型空间格局分布特征, 探讨  
流域水沙变化与地表覆被的空间格局存在的关系, 以期为泾

河流域生态水文研究、水土流失治理和植被恢复以及各子流  
域的有效管理提供理论基础与决策依据。

1 研究区概况

泾河发源于宁夏回族自治区泾源县六盘山东麓的老龙  
潭, 由西北向东南流经宁夏、甘肃、陕西三省(区), 在陕西高陵  
县陈家滩与渭河相汇, 该流域位于东经 106°14' ~ 108°42', 北  
纬 34°46' ~ 37°19' 之间, 流域总面积 45 421 km<sup>2</sup>, 是渭河的一  
级支流、黄河的二级支流<sup>[5]</sup>。泾河流域地处黄土高原中部, 处  
于六盘山和子午岭之间, 流域内地形西北高, 东南低, 总体地  
势是东北西三面向东南倾斜, 泾河及各级支流均深切于梁、  
塬、峁和黄土沟壑镶嵌的黄土地貌景观中, 水土流失比较严  
重, 多年平均侵蚀模数 1 000 t/km<sup>2</sup>。本流域属于大陆性气  
候, 为暖温带-温带、半湿润-半干旱过渡带, 气温南高北低,  
降水南多北少, 多年平均气温 8℃, 年降水量在 350~ 650 mm

\* 收稿日期: 2005-08-17

基金项目: 国家重点基础研究“973”项目(2002CB111507)资助

作者简介: 王兮之(1971-), 男, 甘肃省兰州市人, 副教授, 博士, 主要从事生态学及遥感与地理信息系统的应用研究。

之间, 主要集中于夏季且多以暴雨形式出现, 夏季降水量一般占到年降水量的 60% 以上, 旱灾与洪灾较为频繁<sup>[6]</sup>。

具体研究区选取了泾河流域的中、上部即该流域主要产沙区域内的 3 个子流域进行对比分析( 见图 1)。环江上游属黄土丘陵沟壑区第二副区, 地形破碎, 植被覆盖率较差, 年均土壤侵蚀模数 7 690 t/km<sup>2</sup>; 合水川属黄土丘陵沟壑地形, 位于子午岭西北部, 有较好的植被覆盖率; 汭河属于黄土高原沟壑地形, 位于六盘山东南部, 植被覆盖率较高。

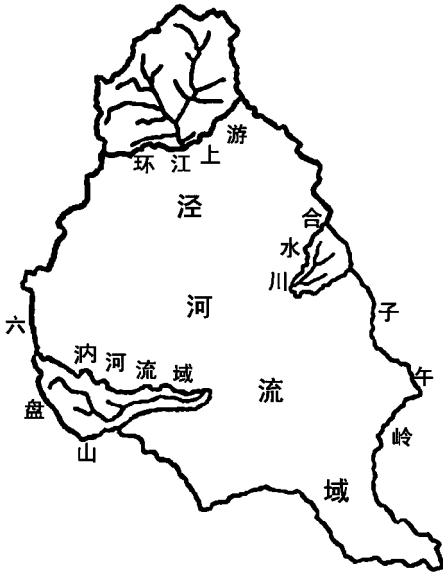


图 1 泾河 3 个子流域位置分布位置图

2 研究方法

根据各子流域的历史资料的长短、时间序列的匹配性, 选取 1971~ 2003 年 3 个水文站的年均径流量与输沙量的水沙资料, 同时获取了 1971~ 2000 年各流域的年均降水量数据。收集并处理了泾河流域的 MODIS 资料( 空间分辨率为 500 m, 时间为 2002 年 1 月~ 2002 年 12 月的 11 期数据)。

利用 1: 25 万的地形图在 ArcGIS 软件以及其中的 GRID 模块, 首先生成流域 DEM 并进行平滑与填洼处理, 形成无洼地 DEM、水流方向矩阵和水流累积矩阵等三个基本水文数字矩阵; 其次, 在上述三个水文数字基础上, 进行流域边界确定与河网的生成<sup>[7]</sup>。根据选取集水区阈值不同, 生成泾河流域及其子流域的边界, 根据研究的需要分别提取 3 个子流域。

泾河流域的土地覆被类型是 MODIS 数据分类结果获取的。具体分类过程如下: 首先对多时相数据进行非监督分类, 将研究区域的土地覆被进行初步分类, 然后利用野外调查资料、1: 25 万地理空间数据、ETM 数据( 1999~ 2002 年, 计 9 景), 建立地形限制特征, 根据这些特征或者特征组合, 将初步分类结果按照 1: 25 万数据细分为同质的单元, 继而根据设定的地形限制特征或者特征组合识别土地覆被类型进行分类。共分为林地、郁闭灌丛、稀疏灌丛、农田、高密的草地、中密度草地、低密度草地、半荒漠草地和城镇及建设用地 9 类, 得到泾河流域的分类结果, 然后再分别截取 3 个子流域的分类结果进行比较。

最后, 借助 FRAGSTATS 景观格局分析软件对 3 个子流域的土地覆被分类进行景观格局指数计算, 本文选取了斑块密度、散布与并列指数、多样性指数和聚集度等 9 种景观格局指数, 对研究区的景观空间格局变化特征进行对比分

析, 具体景观格局指数计算方法及意义详见 FRAGSTATS 软件说明等<sup>[8-9]</sup>。

3 结果与分析

3.1 水沙变化特征

泾河 3 个子流域的水沙特征及降水量差异十分显著( 见表 1)。环江上游的面积分别是汭河与合水川的 2.96 和 5.49 倍, 汭河的面积是合水川的 1.99 倍; 汭河的径流量分别是环江上游与合水川的 2.02 和 9.96 倍, 环江上游是合水川的 4.93 倍; 输沙量却是环江上游分别为汭河与合水川的 13.11 和 29.94 倍; 降水量是汭河> 合水川> 环江上游。表明 3 个子流域都属于泾河流域而径流量与输沙量存在较显著差别, 尤其是汭河与合水川在相对比较类似的环境中存在的差异更为明显。

表 1 泾河 3 个子流域特征统计

	面积/ km <sup>2</sup>	径流量/ 亿 m <sup>3</sup>	输沙量/ 万 t	降水量/ mm
环江上游	4549.94	0.6703	4012.21	402.8
汭河	1650.92	1.3547	306.35	535.9
合水川	828.30	0.136	134	519.7

3 个流域 30 年来的降水量变化过程见图 2。各流域多年来降水量波动变化的总体趋势基本一致, 而汭河与合水川的降水量都略有下降, 环江上游却基本保持不变。同时, 年际间的降水量差异也比较显著, 其中环江上游> 汭河> 合水川。

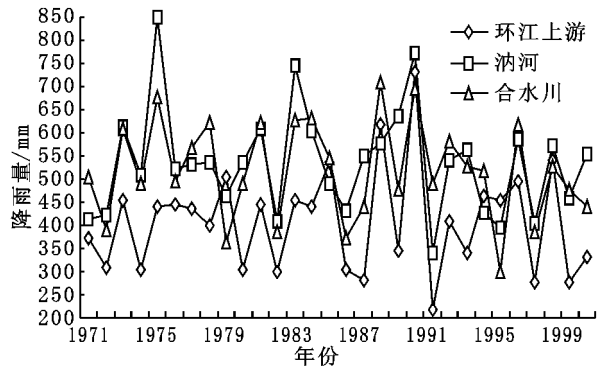


图 2 各流域 30 年来降水量变化

泾河 3 个子流域的 33 年来径流量和输沙量的变化与差异也比较显著, 具体变化过程如图 3、4 所示。多年来各流域的变化情况如下: 环江上游的径流量增加了 60% 而输沙量却增加了 1 倍多; 合水川的径流量基本保持不变输沙量略有增加; 汭河的径流量减少了约 40% 而输沙量却只有 1/5。同时, 径流量与输沙量的年际间的差异也较大。另外, 若 3 个流域的面积换算为相等的进行比较则径流量的差异更为显著, 而输沙量之间的差别也同样明显。

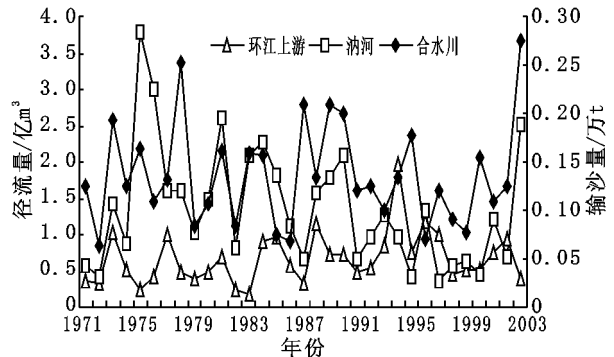


图 3 各流域 33 年来径流量变化

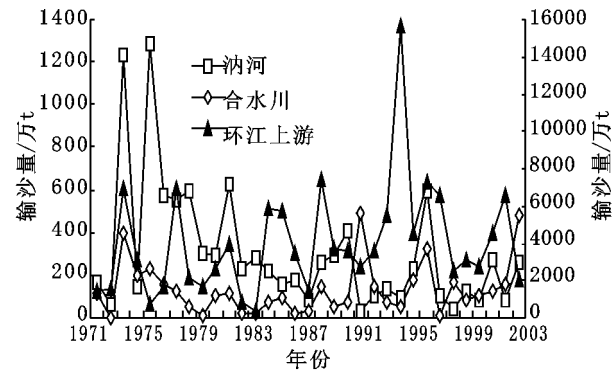


图 4 各流域 33 年来输沙量变化

3.2 景观格局特征

3 个流域的土地覆被类型分布及数量状况如图 5、6 所示。环江上游只有 6 种土地覆被类型,其中低密度草地和半荒漠草地分别占了 46.32% 和 52.23%; 纳河有 9 种土地覆被类型,其中林地、郁闭灌丛、稀疏灌丛、农田、高密度草地和中密度草地分别各占 20.42%、12.04%、15%、19.96%、21.38% 和 10.9%; 合水川有 7 土地覆被类型,其中林地、郁闭灌丛、稀疏灌丛和高密度草地分别为 25.95%、32.89%、16.49% 和 15.83%。显然 3 个流域之间的土地覆被类型无论是空间分布特点还是数量特征都存在显著差异。

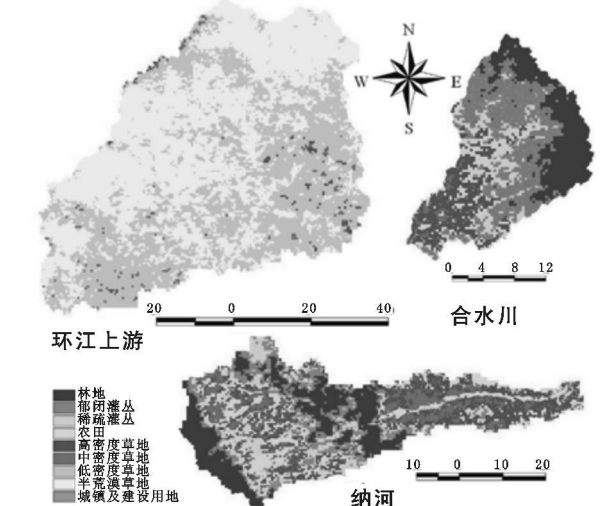


图 5 各流域的土地覆被类型分布图

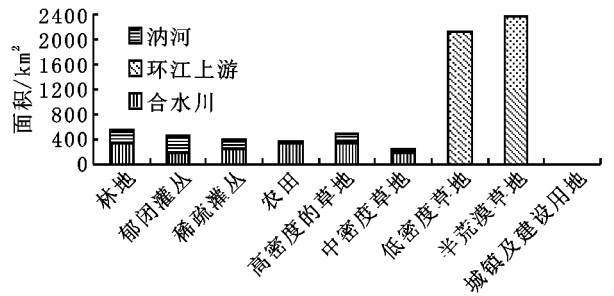


图 6 各流域的土地覆被类型面积

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间分布特征的定量指标体系。下面通过景观空间格局指数的计算,从类型与景观水平上对各流域土地覆被类型的空间格局进行分析(见表 2、3)。

从类型水平上看,环江上游的土地覆被类型较少且斑块数也少,而流域的面积是最大且低密度草地和半荒漠草地两种类型占整个流域面积的 98.55%,同时斑块数占环江流域总

斑块数的 71.37%,低密度草地和半荒漠草地两种类型的散布与并列指数最小而聚合指数、凝聚指数与聚集指数最大,从不同的角度充分反映了环江上游是以低密度草地和半荒漠草地两种类型为主的空间格局分布特点; 纳河流域各种土地覆被类型分布相对比较均匀,其中林地的聚合指数、聚集指数和凝聚指数最大且散布与并列指数最小,反映林地在流域内聚集分布的空间格局同时也体现了纳河流域的地形特征,而城镇及建设用地的聚合指数和聚集指数较高而凝聚指数却最小,与林地相比较很好地反映了城镇及建设用地的空间分布特征,农田的斑块密度最高且散布与并列指数较高,说明人类活动对该流域具有较强的干扰作用; 合水川流域的土地覆被类型植被状况较好,其中林地、密闭灌丛、稀疏灌丛和高密度草地占整个流域的 91.16%,农田的面积较少而斑块密度和散布与并列指数的值较高,表明合水川具有一般流域所具有的典型特点即中、上游为林地等植被条件较好的水源涵养区,中游河道两侧及下游是以人类活动为主要的区域。

表 2 泾河 3 个子流域类型水平景观指数统计

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
CA	-	-	0.61	0.07	22.98	42.16	2107.54	2376.58	-
NP	-	-	1	4	41	92	169	175	-
环江上游	PD	-	-	0.0001	0.0006	0.0057	0.0129	0.0237	0.0245
CL	-	-	-	0.0085	0.0006	0.023	0.0301	27.3911	28.680
IJI	-	-	-	67.0159	36.6215	28.8391	23.2246	23.0611	1.0000
CO	-	-	-	89.0704	45.3616	89.7607	88.9303	99.8896	99.8639
AI	-	-	-	91.7241	33.3333	88.4300	86.8788	96.0717	96.8885
纳河	CA	337.03	198.75	247.69	329.47	352.88	179.95	3.53	0.11
NP	25	132	244	3243	254	80	9	1	3
PD	0.0064	0.0340	0.0628	0.8352	0.0654	0.0206	0.0023	0.0003	0.0008
CL	0.9661	0.8233	0.7983	0.703	0.8155	0.9169	0.8907	0.8823	0.9206
环江上游	IJI	32.1206	56.8183	54.1061	59.6709	45.1278	48.6777	63.6668	58.2389
CO	99.3042	96.9207	95.4060	93.0530	98.4133	97.3807	88.1839	71.2955	71.2955
AI	96.9362	83.2319	81.1211	72.8456	83.2260	92.0759	89.0789	88.2353	92.0635
合水川	CA	214.92	272.39	136.59	52.55	131.12	19.22	1.51	-
NP	17	42	93	1834	48	29	6	-	-
PD	0.0107	0.0265	0.0587	1.1586	0.0303	0.0183	0.0038	-	-
CL	0.9900	0.9548	0.9390	0.7652	0.9614	0.9545	0.9560	-	-
环江上游	IJI	15.6533	58.2766	62.7982	59.6815	71.4639	36.4354	40.8462	-
CO	99.8212	99.8378	98.6800	87.5513	99.6273	96.7179	92.8932	-	-
AI	99.1330	96.2602	94.4260	77.3009	96.4599	95.5013	95.6054	-	-

注:表中“-”为无值;A:林地;B:郁闭灌丛;C:稀疏灌丛;D:农田;E:高密度草地;F:中密度草地;G:低密度草地;H:半荒漠草地;I:城镇及建设用地;CA:斑块面积;NP:斑块数;PD:斑块密度;CL:聚集指数;IJI:散布与并置指数;CO:凝聚指数;AI:聚合指数。

从景观水平上对比可知,环江上游的面积最大而土地覆被类型最少,斑块数、斑块密度和散布与并列指数最小,连通性、凝聚指数和聚合指数最大,表明该流域的连通性最高而破碎度最小; 纳河的斑块数与土地覆被类型最多,斑块密度和散布与并列指数较大,而连通性、凝聚指数和聚合指数最小,说明该流域连通性最低而破碎度较高; 合水川的面积最小而斑块数较多,而斑块密度和散布与并列指数最大,连通性、凝聚指数和聚合指数较大,表明该流域的破碎度最高而

连通性较高。还有 3 个流域的 Shannon’s 多样性指数和 Simpson’s 多样性指数是 纳河的最高而环江上游最低, 相对而言 纳河流域的稳定性即抗干扰能力最好, 合水川流域次之, 环江上游流域的最低。

表 3 景观水平指数特征

	CA	NP	PD	CONTAG	IJI	COHESION	SHDI	SIDI	AI
环江上游	4549.94	482	0.0675	74.0737	15.5260	99.8645	0.7671	0.5125	96.3731
纳河	1650.92	3991	1.0278	46.8748	56.3162	97.1773	1.7715	0.8222	84.9151
合水川	828.30	2049	1.3070	53.9229	63.1788	99.4906	0.1586	0.7677	95.5131

注: CONTAG 连通性, SHDI Shannon’s 多样性指数, SIDI Simpson’s 多样性指数。

4 结论与讨论

土地利用/土地覆被格局对流域的径流量与输沙量有重要影响, 同样流域土地覆被类型的空间格局分布特征与其水沙变化之间也存在密切联系。对泾河 3 个子流域的分析表明:

30 多年来环江上游的径流量增加了 60% 而输沙量却增加了 1 倍多, 合水川的径流量基本保持不变输沙量略有增加, 纳河的径流量减少了约 40% 而输沙量却只有 1/5, 同时,

参考文献:

[ 1 ] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代这个土地利用变化时空特征及其成因分析[ J ]. 地理研究, 2003, 22( 1 ): 1– 12.

[ 2 ] Mander U, Jongman R H G. Human impact on rural landscape in central and northern Europe[ J ]. Landscape and Urban Planning, 1998, 41: 149– 153.

[ 3 ] 索安宁, 王兮之, 洪军, 等. 基于遥感的泾河流域植被覆盖格局分析[ J ]. 水土保持研究, 2005, 12( 4 ): 191– 194.

[ 4 ] 毕晓丽, 周睿, 刘丽娟, 等. 泾河沿岸景观格局梯度变化及驱动力分析[ J ]. 生态学报, 2005, 25( 5 ): 1041– 1047.

[ 5 ] 冉大川, 吴永红. 泾河流域水土保持生态环境建设与治理方略刍议[ J ]. 水土保持研究, 2003, 10( 2 ): 58– 59.

[ 6 ] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 2002. 163– 201.

[ 7 ] 王中根, 刘昌明, 左其亭, 等. 基于 DEM 的分布式水文模型构建方法[ J ]. 地理科学进展, 2002, 21( 5 ): 430– 439.

[ 8 ] McGarigal K, B J Marks. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure[ R ]. Gen. Tech. Report PNW– GTR– 351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, 1995.

[ 9 ] Gustafson E J. Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art[ J ]. Ecosystems, 1998, 1: 143– 156.

( 上接第 259 页)

参考文献:

[ 1 ] 谭其骧. 何以黄河在东汉以后会出现一个长期安流的局面[ J ]. 学术月刊, 1962, ( 2 ): 23– 35.

[ 2 ] Yuan B, Lu Z , Deng C. Formation and erosion processes of the Loess Plateau[ J ]. International Journal of Sediment Research, 1999, 14( 2 ): 345– 352.

[ 3 ] 邓成龙, 袁宝印. 末次间冰期以来黄河中游黄土高原沟谷侵蚀– 堆积过程初探[ J ]. 地理学报, 2001, 56( 1 ): 92– 98.

[ 4 ] ( 清 ) 王轩, 杨笃等纂修. 山西通志[ M ]. 北京: 中华书局, 1990.

[ 5 ] 任世芳, 孟万忠, 赵淑贞. 历史时期三川河湫水河流域的土地利用[ J ]. 中国历史地理论丛, 2004, 19( 4 ): 17– 35.

[ 6 ] 连云港市博物馆. 江苏东海县尹湾汉墓群发掘简报[ J ]. 文物, 1996, ( 8 ): 4– 25

[ 7 ] 梁方仲. 中国历代户口、田地、田赋统计[ M ]. 上海: 上海人民出版社, 1980.

[ 8 ] 葛剑雄. 中国人口史· 第一卷· 先秦至南北朝时期[ M ]. 上海: 复旦大学出版社, 2002. 234– 236, 487.

[ 9 ] ( 清 ) 雅德修, 汪本直纂. 山西志辑要[ M ]. 北京: 中华书局, 太原: 山西省史志研究院, 2000.

[ 10 ] 李鸿章. 李文忠公全集[ M ]. 上海: 商务印书馆, 1921.

[ 11 ] ( 美 ) 费正清. 剑桥中国晚清史· 1800– 1911· 下卷[ M ]. 北京: 中国社会科学出版社, 1985. 300– 302.

[ 12 ] 山西省统计局. 山西省三十五年建设成就[ M ]. 太原: 山西人民出版社, 1984.

[ 13 ] 王尚义. 两汉时期黄河水患与中游土地利用之关系[ J ]. 地理学报, 2003, 58( 1 ): 73– 82.

[ 14 ] 景可, 陈永宗, 李风新. 黄河泥沙与环境[ J ]. 北京: 科学出版社, 1993. 68– 70.

[ 15 ] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 中国黄土高原地区耕地坡度分级数据集[ M ]. 北京: 海洋出版社, 1990.

[ 16 ] 黄秉维, 郑度, 赵名茶. 现代自然地理[ M ]. 北京: 科学出版社, 1999. 327.