

# 陕西省黄土高原地区侵蚀性降水变化特征

孙智辉, 刘志超, 曹雪梅, 雷延鹏

(延安市气象局, 陕西 延安 716000)

**摘要:** 利用陕西省黄土高原地区42个站点的逐日降水观测资料, 分析了1961—2007年该地区的年降水量、侵蚀性降水量、暴雨量的变化趋势和空间分布特征。研究表明, 陕西省黄土高原地区年降水量、侵蚀性降水和暴雨的空间分布非常相似, 具有北少南多的分布特征。1961—2007年陕西省黄土高原年降水和侵蚀性降水呈下降趋势, 暴雨呈上升趋势。在空间分布上, 延安市以北地区, 降水量减少幅度小, 延安市以南地区降水量减少明显; 渭北地区暴雨量增加, 而丘陵沟壑区暴雨量则呈减少趋势。

**关键词:** 陕西省黄土高原; 侵蚀性降水; 暴雨量; 时空变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0036-04

中图分类号: P426.615, S157

## Variation Characteristics of Erosive Rainfall on the Loess Plateau of Shaanxi Province

SUN Zhi-hui, LIU Zhi-chao, CAO Xue-mei, LEI Yan-peng

(Meteorological Bureau of Yan'an, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

**Abstract:** The variation trends and spatial characteristics of annual precipitation, erosive precipitation, and rainstorm amount from 1961 to 2007 are analyzed using the data of daily precipitation observed from 24 stations on the Loess Plateau of Shaanxi Province. Results show that the spatial distributions of annual precipitation, erosive precipitation, and rainstorm amount are quite similar. The spatial distributions are characterized by greater magnitude in the north than in the south. The annual precipitation and erosive precipitation present a downward trend, whereas rainstorm amount has a rising trend. For the spatial distribution, precipitation is reduced little in the north of Yan'an City, but significantly in the south. The rainstorm amount is increased in the North Weihe Area, but decreased in the hilly and gully region.

**Keywords:** Loess Plateau of Shaanxi Province; erosive rainfall; rainstorm amount; spatiotemporal variation

黄土高原是世界上严重的水土流失区之一, 其土壤流失主要由几场暴雨引起<sup>[1-2]</sup>。陕西省黄土高原处于土壤侵蚀最为严重的地区, 自1999年退耕还林(草)工程实施以来, 该区治理进入了一个新阶段, 治理的规模扩大、投资增强、速度加快。退耕还林(草)工程使土地利用、植被覆盖状况发生了较大变化, 水土流失程度有减轻趋势<sup>[3-4]</sup>。而降水变化作为重要的影响因素, 已被广泛地应用于驱动机制分析<sup>[5-8]</sup>。研究降水的时空变化规律, 尤其是侵蚀性降水的时空变化特征, 有助于更好地理解黄河中游输沙逐年减少的原因, 对当前正在进行的生态植被建设也具有指导意义。

近年来, 许多学者从年降水量、不同季节降水量等角度, 研究了陕西省黄土高原地区降水的变化规律<sup>[9-11]</sup>。研究表明, 陕西省黄土高原降水整体呈现下降趋势, 20世纪60年代为降水多雨期, 70—80年代

降水正常, 90年代为少雨期; 雨日减少, 但雨强加大。在侵蚀性降水时空变化方面, 目前只在侵蚀性降水特征和整个黄土高原区域时空变化方面有一些研究<sup>[12-13]</sup>, 但就陕西省黄土高原地区而言, 还缺乏对侵蚀性降水时空变化特征的系统研究。本研究基于日降水数据, 分析了近47 a来陕西省黄土高原地区年降水量、侵蚀性降水量和暴雨量的时空变化特征, 以期加深对陕西省黄土高原降水时空变化规律的认识, 增进对黄河中游水沙变化驱动因素的理解。

## 1 资料与方法

陕西省黄土高原所属县区均设有气象站, 但建站时间不一, 因此选用了26个气象站1961—2007年逐日降水记录, 其余16个气象站资料为1971—2007年, 由陕西省气象档案馆提供。通过逐站、逐年日降水数据的汇总, 得到42个站的逐年降水量。分别以

日降水量  $\geq 12$  mm 为侵蚀性降水划分标准<sup>[14]</sup>, 以日降水量  $\geq 50$  mm 为暴雨划分标准, 对逐站、逐年日降水数据筛选汇总, 得到逐站逐年侵蚀性降水量和暴雨量。在 ArcGIS 9.0 平台, 将逐年降水数据采用 Kriging 方法进行空间插值, 得到逐年降水量、侵蚀性降水量、暴雨量的 1 km 分辨率的栅格数据。计算逐年年面上年降水量、侵蚀性降水量以及暴雨量平均值, 进而得到逐年距平百分率, 用以揭示陕西省黄土高原降水的年际波动特征。20 世纪 60 年代用 26 个站资料进行内插, 以后各年均用全部气象站资料。

## 2 结果与分析

### 2.1 年降水量和侵蚀性降水量的关系

利用每个站点年降水量、侵蚀性降水量和暴雨量的多年平均值分析发现, 陕西省黄土高原地区年降水量与侵蚀性降水量之间以线性关系最佳 ( $y = 0.646x - 18.929, r = 0.9049, n = 42, P < 0.001$ ), 年降水量与暴雨量之间呈显著的幂函数关系 ( $y = 0.0628x^{1.062}, r = 0.5824, n = 42, P < 0.001$ )。随年降水量的增加, 侵蚀性降水遵循线性关系迅速增加; 暴雨量与年降水量以幂函数关系最为显著, 但也无法通过检验, 说明暴雨强度不受年降水量影响, 在黄土高原北部也能出现强暴雨天气。

### 2.2 空间分布格局

(1) 侵蚀性降水的空间特征。陕西省黄土高原侵蚀性降水量从北向南, 随降水量的增加而增加(附图 5)。北部长城沿线风沙区多年平均侵蚀性降水量不足 250 mm, 丘陵沟壑区的侵蚀性降水量大多在 250~320 mm, 延安以南地区侵蚀性降水量多在 350 mm 上下, 只有宜君县侵蚀性降水量大于 400 mm。

(2) 暴雨的空间特征。暴雨是相对于侵蚀性降水发生频率更为稀少的极端降雨事件 ( $\geq 50$  mm/d), 暴雨量的变化与黄土高原的水土流失、黄河中下游的洪水密切相关。陕西省黄土高原站暴雨发生频率平均为 0.69 d/a, 日暴雨平均降水量为 67.78 mm/d, 站平均有 51.5% 的年份会出现暴雨, 平均两年中有一年会有暴雨出现, 年平均暴雨量为 92.7 mm。在地域分布上, 长城沿线区的定边、靖边、横山等县暴雨年明显偏少, 3~4 a 中有一年出现暴雨, 平均暴雨量也偏低, 陕西省黄土高原多年暴雨量空间分布具有明显的空间分异规律, 从西北向东南逐渐增多(附图 6)。

### 2.3 时间变化趋势

(1) 年降水量。1961—2007 年陕西省黄土高原降水年际间波动较大, 但仍存在着趋势性下降特征 ( $r = -0.3293, n = 47, P < 0.05$ ) (图 1a)。由于年降

水具有 3~5 a 的年际振荡规律<sup>[15-16]</sup>, 在此通过 3 a 滑动平均的方法消除短周期振荡影响。经过滑动平均处理后, 陕西省黄土高原降水序列年际间呈现明显的下降趋势 ( $y = -0.4166x + 10.009, r = -0.5799, n = 45, P < 0.001$ ), 尤其 1963—2001 年期间降水量下降趋势显著 ( $y = -2.88x + 559.7, r = -0.7264, n = 45, P < 0.001$ )。

从累积距平百分率来看, 1969 年以前, 陕西省黄土高原降水处于降水偏多的丰水期, 降水距平以正值为主, 有 8 a 年降水量为正距平, 累积距平值不断地上升(图 1b)。在 1970—1985 年期间, 陕西省黄土高原降水并没表现出明显的变化趋势, 而是处于大幅波动状态, 累积距平也没有发生显著变化。1986 年开始, 陕西省黄土高原地区降水呈现明显的下降趋势, 累积距平迅速下降, 其中 1997 年陕西省黄土高原地区降水量仅有 327.8 mm, 是研究时段内降水最少的年份。2002 年以后, 降水有所回升, 2003 年是降水比较丰沛的一年, 比多年平均降水量偏多 37.8%, 但整体来说降水仍处于偏低状态。

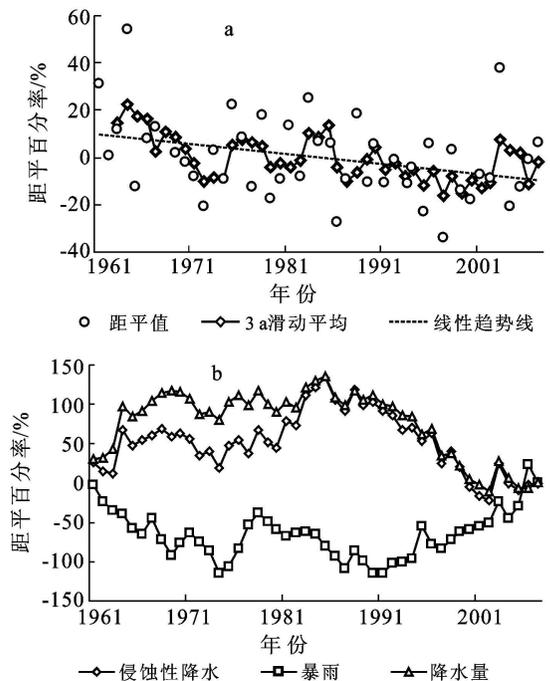


图 1 1961—2007 年黄土高原年降水量变化

(2) 侵蚀性降水。1961—2007 年陕西省黄土高原地区的年侵蚀性降水量年际间波动与年降水量非常相似(图 2a), 二者都具有显著的同步性 ( $r^2 = 0.8862, n = 47, P < 0.001$ ), 即随着年降水量的增多, 侵蚀性降水也随之增多, 反之, 随着年降雨量的减少, 侵蚀性降水也随之减少。陕西省黄土高原侵蚀性降水量经过 3 a 的滑动平均后呈明显的下降趋势 ( $r = -0.4000, n = 45, P < 0.01$ )。虽然 2003 年侵蚀性

降水与年降水同样偏多,但这不足以改变 2001—2007 年侵蚀性降水处于偏少的态势。从累积距平百分率来看,年降水量与侵蚀性降水量年际波动性存在显著的同步性(图 1b)。

(3) 年暴雨量。陕西省黄土高原暴雨量呈增加趋势(图 2b),经过 3 a 的滑动平均后呈明显的上升趋势( $r = 0.5108$ ,  $n = 45$ ,  $P < 0.001$ )。由图 2b 可知,1961—1974 年陕西省黄土高原暴雨累计距平呈下降趋势,表明暴雨量较少,1975—1978 年累计距平值上升,暴雨量呈增加趋势,1979—1991 年累计距平值呈波动下降,暴雨量又处于偏少阶段,2001 年以后,累计距平值快速上升,说明近几年处在暴雨多发年。

(4) 年代变化。由表 1 可知,陕西省黄土高原年降水量和侵蚀性降水量均在 20 世纪 60 年代最多,20 世纪 70—80 年代在平均线上下摆动,20 世纪 70 年代略低,而 20 世纪 80 年代略高于平均值,20 世纪 90 年代年降水量和侵蚀性降水量最少,2001 年以来,年降水量和侵蚀性降水量均有所回升,处在平均值上下。平均暴雨量在 20 世纪 60 年代最少,20 世纪 80 年代也处于偏少时段,20 世纪 70 年代和 20 世纪 90 年代和 2001—2007 年之间偏多,90 年代出现暴雨站最少,说明 90 年代暴雨强度大,最近几年暴雨出现站最多,暴雨量最大,处于暴雨多发时段。

#### 2.4 陕西省黄土高原降水异常的突变

从图 1b 中可看到,年降水量和侵蚀降水量在 1985 年之前累计距平曲线呈多波动形式,说明正负距平交替出现,1985 年之后曲线呈明显的较为一致

的下降形式,说明是连续的负距平,整体说明降水的盈余累计到 1985 年达到极大值,之后连年亏缺。虽然 2003 年是降水比较丰沛的一年,但整体来说降水仍处于偏低状态。对年降水量序列做 M—K 检验,在 1985 年出现突变,以 1985 年为界,计算分段均值,1961—1985 年平均距平值为 5.4%,而 1986—2007 年平均距平值为 -6.2%,反映了 1985 年之后降水明显减少。

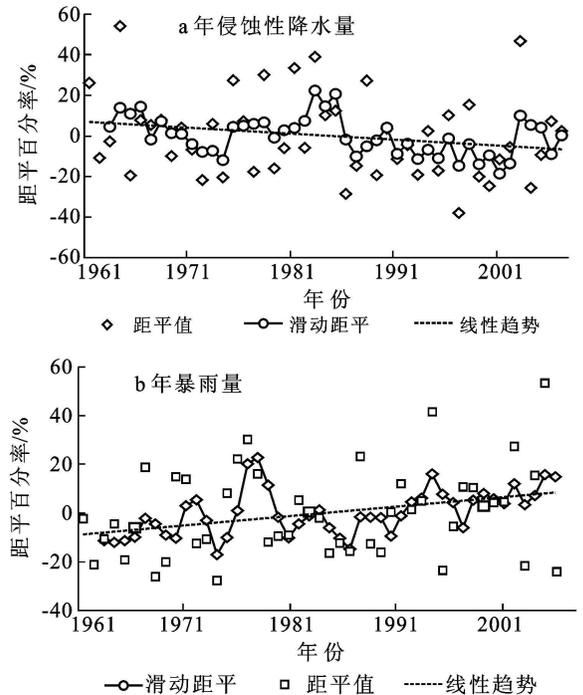


图 2 陕西省黄土高原地区侵蚀性降水量和年暴雨量的年际波动

表 1 陕西省黄土高原不同年代降雨量和侵蚀性降水量统计

项目	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2007 年
年降水量/mm	552.7	483.2	505.5	443.0	491.8
距平/%	11.5	-2.5	2.0	-10.6	-0.7
侵蚀性降水量/mm	331.4	306.2	329.7	278.5	313.7
距平/%	6.3	-1.8	5.7	-10.7	0.6
暴雨出现站数/个	21.1	22.4	21.2	19.7	24.0
距平/个	-0.4	0.9	-0.3	-1.8	2.5
暴雨量/mm	82.9	91.4	84.8	94.8	97.4
距平/%	-7.7	1.8	-5.6	5.5	8.5

1961—2007 年陕西省黄土高原地区降水呈下降趋势,并大致划分为 1961—1985 年的多雨期和 1986—2007 年的少雨期。在此,通过两个时段降水量的对比,揭示期间陕西省黄土高原地区降水的时空变化特征。

从 1961—1985 年和 1986—2007 年两时期平均降水量对比来看,陕西省黄土高原地区后一时期的降

水量普遍比前一时期偏少,并存在明显的空间差异(附图 7—8)。榆林市大部和延安北部的安塞、子长、延川等地区降水量减小幅度最小,而延安南部降水偏少最为显著。侵蚀性降水的变化分布与年降水量相同。暴雨的变化分布具有中部为减少区而南北为增加区的特征,渭北地区暴雨量普遍增多,丘陵沟壑区大部分县暴雨量减少,北部风沙区暴雨量有增有减,但以增加为主。

### 3 结论

(1) 陕西省黄土高原地区年降水量、侵蚀性降水和暴雨的空间分布非常相似, 具有北少南多的分布特征。1961—2007年陕西省黄土高原多年平均降水量495.5 mm, 日降水量 $\geq 12$  mm的侵蚀性降水量为311.8 mm, 暴雨年平均雨量为92.7 mm。

(2) 1961—2007年陕西省黄土高原地区降水量在波动中呈现下降趋势。1961—1969年是黄土高原降水相对偏多期; 1970—1985年降水处于剧烈的波动状态, 不具有显著趋势性; 1986年以后降水持续偏少, 降水量处于相对偏少期; 2001年以后降水量有所恢复, 已接近多年平均值。侵蚀性降水量和年降水量变化具有显著的一致性, 但侵蚀性降水的变化幅度明显大于降水量的变化幅度。暴雨量呈增加趋势, 波动变化明显, 2001年以后, 处在暴雨多发年。

(3) 陕西省黄土高原降水变化存在明显的空间差异。从1961—1985年和1986—2007年两个时期的对比来看, 后一时期的降水普遍较前一时期减少, 但暴雨量略偏多。年降水量和侵蚀性降水量的变化, 以延安地区为界, 北部减少幅度小, 南部减少幅度大。暴雨量变化, 渭北地区以增多为主, 丘陵沟壑区以减少为主。

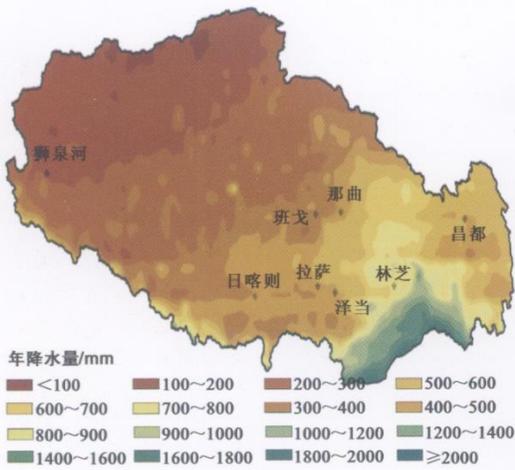
2001年以来, 水土流失严重的丘陵沟壑区年降水量、侵蚀性降水量和暴雨量均偏少, 降低了降水侵蚀力, 因此在评价退耕还林工程实施以来的水土保持效益时应充分考虑侵蚀性降水的变化, 做到科学客观的评价。

#### [ 参 考 文 献 ]

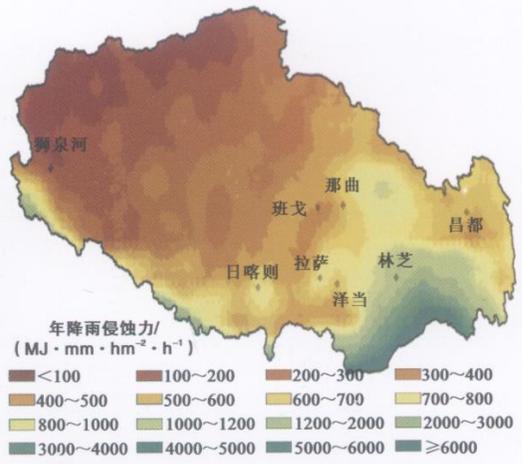
[ 1 ] 周佩华, 王占礼. 黄土高原土壤侵蚀暴雨的研究[ J ]. 水

土保持学报, 1992, 6(3): 1-5.

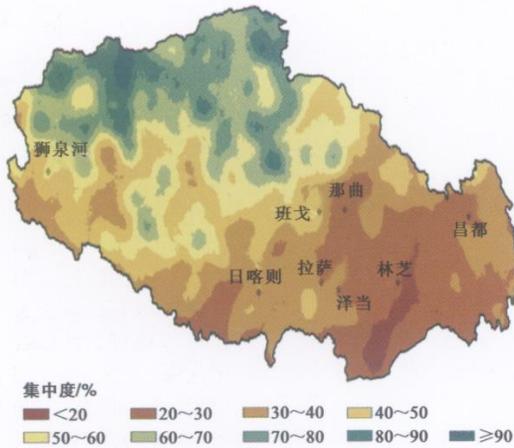
- [ 2 ] 焦菊英, 王万中, 郝小品. 黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[ J ]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(1): 34-42.
- [ 3 ] 汪邦稳, 杨勤科, 刘志红, 等. 延河流域退耕前后土壤侵蚀强度的变化[ J ]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 27-33.
- [ 4 ] 谢红霞, 李锐, 杨勤科, 等. 退耕还林(草)和降雨变化对延河流域土壤侵蚀的影响[ J ], 中国农业科学, 2009, 42(2): 569-576.
- [ 5 ] 冉大川. 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[ M ]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.
- [ 6 ] 汪岗, 范昭. 黄河水沙变化研究(1—5卷)[ M ]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [ 7 ] 王钧, 蒙古军. 黑河流域近60年来径流量变化及影响因素[ J ]. 地理科学, 2008, 28(1): 83-88.
- [ 8 ] 孙智辉, 曹雪梅, 李新亚, 等. 气候变化和人类活动对吴起土壤侵蚀的影响[ J ], 水土保持研究, 2009, 16(6): 30-34.
- [ 9 ] 刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析[ J ]. 干旱区研究, 2007, 24(1): 49-55.
- [ 10 ] 蔡新玲, 王繁强, 吴素良. 陕北黄土高原近42年气候变化分析[ J ]. 气象科技, 2007, 35(1): 45-48.
- [ 11 ] 孙智辉, 曹雪梅, 刘志超, 等. 陕西黄土高原地区降水日数和强度年代际变化[ J ]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 510-512.
- [ 12 ] 张岩, 朱清科. 黄土高原侵蚀性降雨特征分析[ J ]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 99-103.
- [ 13 ] 信忠保, 许炯心, 马元旭. 近50年黄土高原侵蚀性降水的时空变化特征[ J ]. 地理科学, 2009, 29(1): 98-104.
- [ 14 ] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[ J ]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [ 15 ] 王毅荣, 王锡稳. 中国黄土高原地区4—10月雨量时空变化特征分析[ J ]. 高原气象, 2006, 25(4): 737-744.
- [ 16 ] 林纾, 王毅荣. 中国黄土高原地区降水时空演变[ J ]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 502-508.



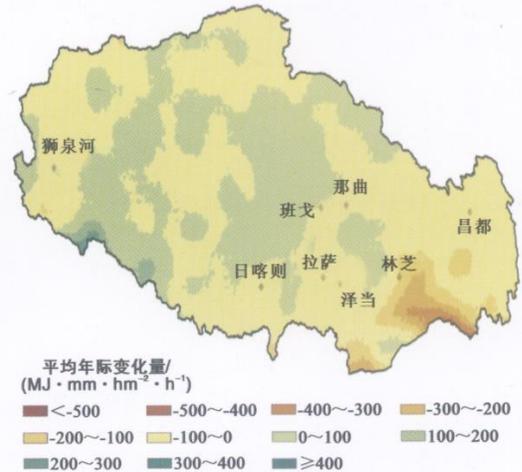
附图1 西藏地区年降水量分布



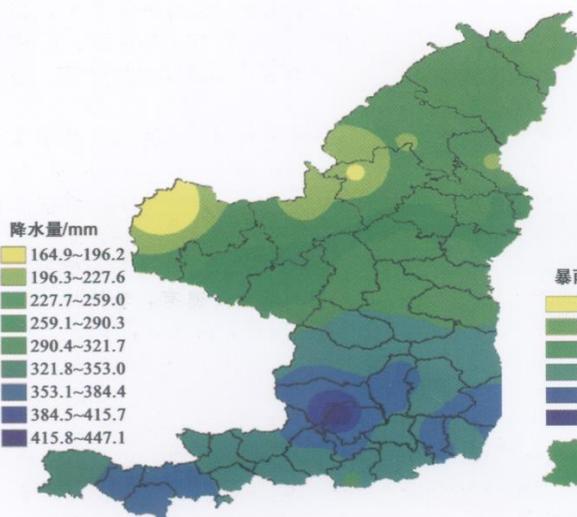
附图2 西藏地区年降水侵蚀力分布



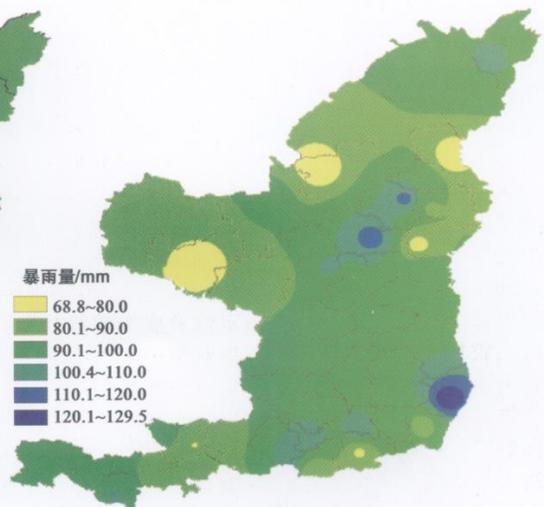
附图3 西藏地区降水侵蚀力年内分配集中度分布



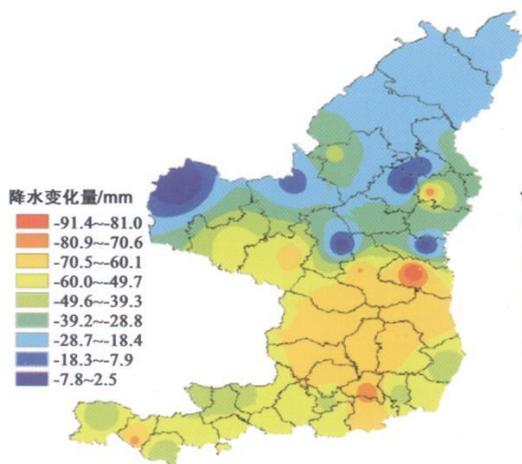
附图4 西藏地区降水侵蚀力年际分布



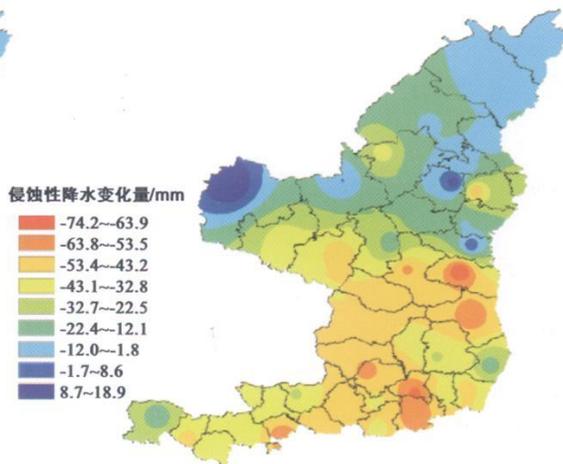
附图5 陕西省黄土高原年侵蚀性降水量空间分布



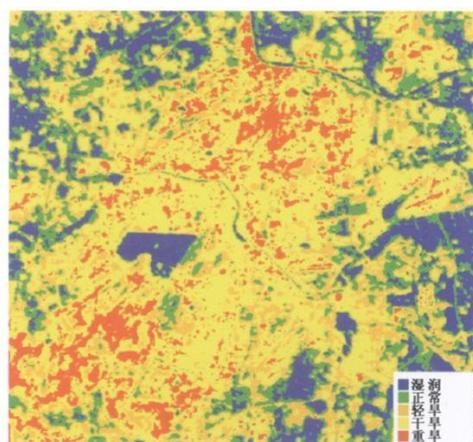
附图6 陕西省黄土高原年暴雨量空间分布



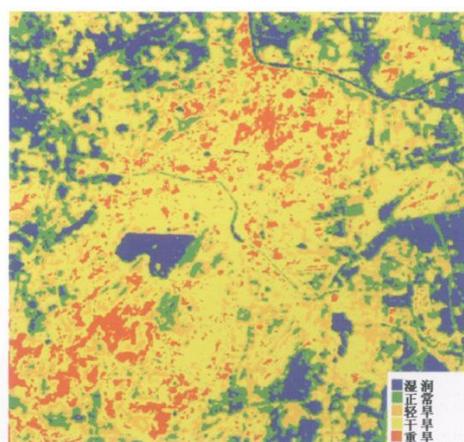
附图7 陕西省黄土高原地区年降水变化特征



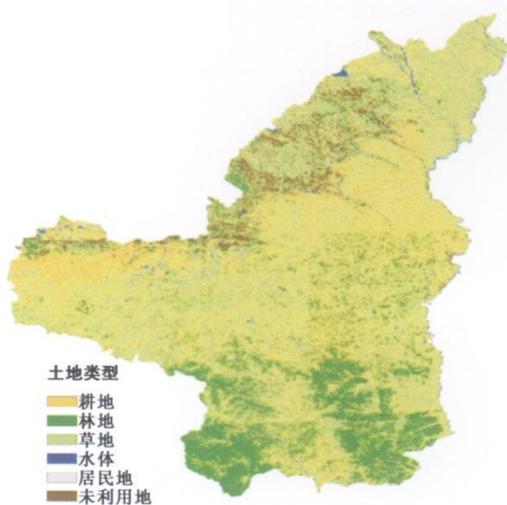
附图8 陕西省黄土高原地区侵蚀性降水变化特征



附图9 徐州市2007年5月14日TVDI(NDVI)分级



附图10 徐州市2007年5月14日TVDI(SAVI)分级



附图11 1997年陕北黄土区土地利用图



附图12 2006年陕北黄土区土地利用图