

长江上游不同降雨带水蚀特征空间分析

任静^{1,2}, 王玉宽¹, 徐佩¹, 傅斌¹, 蔡雄飞^{1,2}

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用长江上游 135 个国家基准气象站 1960–2009 年的日降雨量统计得到的多年平均降水量, 并对这些气象站的多年平均降雨量和该地区 225 个县多年平均降雨量数据进行空间分析处理, 结合 USLE 模型计算得到长江上游土壤水蚀分布图, 利用 GIS 技术手段对不同降雨带下的土壤水蚀状况进行了分析。研究表明: 该区域水蚀量占土壤侵蚀总量的 78%; 水蚀程度分布与降雨带分布均呈自西向东递增趋势, 局部存在差异。江源区及川西北部, 多年平均降雨量小于 900 mm, 水蚀以微度为主; 川中部地区降雨分布不均, 水蚀区域差异较大; 四川盆地与陕、甘交界地段, 降雨等级在 4–5 之间、重庆北部降雨等级在 7–8 之间的地区, 水蚀均较为严重, 以强度以上为主; 云南西北金沙江下游地区、重庆西南以及湖北秭归、宜昌等地降雨等级在 7–8 之间, 水蚀以中、强度为主; 当降雨等级为 8 时, 土壤侵蚀指数达最大(160.5)。该结果与 2000 年长江上游土壤侵蚀遥感调查结果基本一致, 为进一步揭示长江上游水土流失的空间分布及成因提供参考。

关键词: 长江上游; 土壤侵蚀; 降雨量

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0001-04

Analysis of Water Erosion under Different Precipitation in the Upper Reaches of Yangtze River Basin

REN Jing^{1,2}, WANG Yu-kuan¹, XU Pei¹, FU Bin¹, CAI Xiong-fei^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences,

Chengdu 610041, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on daily rainfall data recorded by 135 meteorological stations from 1961 to 2009 and multi-year average precipitation data of 225 counties in the Upper Yangtze River Basin, combined with water erosion distribution map calculated by USLE model, the relationship between precipitation and water erosion in the Upper Yangtze River Basin was analyzed through using the spatial analysis function on GIS software. The results show that water erosion accounts for 78% of the whole soil erosion; for the distribution of water erosion and precipitation, although there is significant difference in local area, they are all increasing from west to east. The source region and northwest of Sichuan, where multi-year average precipitation is less than 900 mm, occurs micro-degree water erosion mainly. In central Sichuan, just as uneven precipitation distribution, water erosion is uneven. In the junction of Sichuan and Shaanxi, Sichuan and Gansu, where precipitation grade is 4 to 5 and north of Chongqing where precipitation grade is 7 to 8, water erosion is serious, intensity erosion occurs mainly; middle intensity erosion dominates the region of the northwest of Yunnan, southwest of Chongqing and Yichang of Hubei, where precipitation grade is 7 to 8. The soil erosion index reaches the maximum value (160.5) in precipitation grade 8. This result is close to 2000 Remote Sensing interpretation of soil erosion, revealing the soil erosion distribution features and causes under different precipitation condition in the Upper Yangtze River.

Key words: the upper reaches of Yangtze River Basin; soil erosion; precipitation

长江流域地貌复杂多样, 气候独特, 其特殊的生态和社会经济地位, 巨大的人口承载以及悠久的历史

文化, 一直以来都是中国乃至全球关注和研究的重点区域。长江流域的生态保护和建设好坏, 不仅关系到

收稿日期: 2011-04-29

修回日期: 2011-05-18

资助项目: 国家自然科学基金“坡地边沟水土保持作用机理研究”(40871134)

作者简介: 任静(1984–), 女, 四川省南充市人, 硕士研究生, 主要从事水土保持和流域生态评估研究。E-mail: candy1jing@163.com

通信作者: 王玉宽(1963–), 男, 内蒙古人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀、流域生态研究。E-mail: wangyukuan@imde.ac.cn

©1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

流域地区的经济建设、社会生活以及沿江人民的安全和健康,而且关系到中国南方广大地区生态环境质量改善和生物多样性保护,还将对中国履行国际环境公约,增加全球环境效益产生重大意义。长江上游作为长江流域的活水源头,自三峡工程建成以来,有不少学者对其生态环境进行了研究^[1-2],表明土壤侵蚀是长江上游生态环境破坏最为严重的问题之一。研究并揭示出水土流失的分布规律及特点将对建设长江上游生态屏障起到重要作用。

土壤侵蚀是指地球陆地表面的固体组成物质(岩土体)在内、外营力和人为因素作用下发生的风化、运移和堆积过程。它包括地球陆地表面发生的所有侵蚀,其涵义与广义的“水土流失”涵义相同^[3]。在水蚀为主的地区,降雨是导致土壤侵蚀的主要动力因素^[4],同时,降雨量和降雨强度对土壤侵蚀强度起着关键性作用。值得注意的是并非所有的降雨事件都能引起土壤侵蚀。Wischmeier^[5]根据大量的观测数据拟定了侵蚀性降雨的雨量标准为 12.7 mm,该标准被运用于通用土壤流失方程(USLE, Universal Soil Loss Equation),并被世界各地的研究者广泛采用^[6]。在长江上游地区开展的水土保持调查工作表明水蚀是该地区最主要的土壤侵蚀形式^[7]。笔者通过 USLE 模型计算得到长江上游土壤水蚀量约占土壤侵蚀总量的 78%。这进一步表明长江上游地区的土壤侵蚀以水蚀最为突出。本文依据统计学原理对长江上游 135 个国家基准气象站 1960–2009 年的次降雨量累计得到的多年平均降水量,结合该地区 225 个县多年平均降雨量数据,进行空间插值分级处理,采用 GIS 技术手段对不同降雨带下的土壤水蚀情况进行分析,揭示其空间分布规律及结构特点,对制定该区域的生态环境保护规划、土地利用规划和消减土壤侵蚀有重要的借鉴意义,为政府和相关决策部门的决策提供科学依据;同时,因降雨量数据容易获取、降雨带划分可操作性强、计算结果可靠等特征,简单易行,以降雨带的划分来识别土壤侵蚀强度简便有效,这样不仅较少了工作量,提高了工作效率,而且可为宏观或快速决策提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长江发源于青海省格拉丹东雪山,从源头至宜昌段为上游,长 4 511 km,约占长江总长的 70%;流域面积 105.4 万 km²,占整个长江流域面积的 58.9%。长江上游地势起伏大,高差悬殊,气候多样,具有显著的区域气候特征;区域内土壤类型多样,水平分异与

垂直分异并存,东部地区地带性土壤为黄壤,中部四川盆地丘陵区以紫色土为主,西部地区主要地带性土壤为高山草甸土,均为抗侵蚀性较差的土壤;且长江上游的广大山丘区坡度陡,土层薄,在一定的降雨条件下易发生水土流失。根据 2000 年长江上游土壤侵蚀遥感调查资料显示,长江上游水土流失面积为 43.83 万 km²,约占长江上游流域总面积的 43.6%^[7]。

长江上游地区降雨丰富,多年平均降雨量约为 1 000 mm,但时空分配不均;降雨量分布趋势是从东南向西北呈递减态势,西部高原地区年平均降水较少(200~800 mm),源头地区五道梁仅 270 mm 左右,东部降水丰富,年平均降水量一般为 800~1 500 mm;其中 5–10 月降雨约占全年降雨量的 70%~90%。同时,受地形以及大气环流的影响,又形成了多个暴雨中心区^[8]。

1.2 数据选取

对长江上游地区 218 个气象站 1961–2009 年的日降雨量和 323 个县多年平均降雨量数据进行判读,剔除数据缺失较多的测站以及雨季(4–10 月)观测数据较少的年份和站点;对各县的多年平均降雨量进行筛选、修正。最后选择 225 个县 135 个气象站的降雨量资料作为基础数据。土壤水蚀分布数据来源于由通用土壤流失方程计算得到的长江上游土壤水蚀分布图^[10]。

1.3 研究方法

1.3.1 普通克吕格(Kriging)插值法 克吕格插值法是一种从变量相关性和变异性出发,在一定的区域内对区域变化量的取值进行无偏、最优估计的方法^[9]。为了消除离群值对插值结果精度的影响,在进行插值之前需要对样本数据中的离群值进行处理。本文通过统计分析发现,降雨数据的分布趋于正态分布,仅存在个别离群点值。剔除离群值后,基于 GIS 平台进行插值计算,进而得到连续的长江上游地区降雨量分布图。

1.3.2 降雨带划分方法 以多年平均降雨量为指标,根据其时空频率分布特征,综合考虑研究区具体情况,对降雨量进行分级。依据该分级结果对降雨量分布图进行重分类,即获得降雨带分布图。具体由 GIS 软件 ArcGIS 9.2 实现。

1.3.3 土壤水蚀强度的划分方法 中华人民共和国水利部以形态学原则(地质、地貌、土壤)为依据,将水力侵蚀为主的一级区分为西北黄土高原区、东北黑土区、北方土石山区、南方红壤丘陵区 and 西南土石山区等 5 个二级类型区。长江上游地区以四川山地丘陵区 and 西南土石山区为主,根据水利部颁布的《土壤侵

蚀分类分级标准》(SL190- 96)(见表 1), 选取南方红壤丘陵/ 西南土石山区土壤侵蚀分级标准, 将水蚀量分布图按侵蚀量划分为 6 级。

1.3.4 土壤水蚀状况的综合评价方法 对每一个栅格上的专题属性数据进行加权求和, 形成定量结果, 称为土壤侵蚀指数^[11]。该指数反映不同单元内的土壤受侵蚀的严重程度, 其值越大, 表明土壤侵蚀越强, 反之, 则越弱。为了对不同降雨带上的土壤侵蚀情况进行比较分析, 本文选取土壤侵蚀指数来评价不同降雨带上土壤侵蚀强度的大小。

$$T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} A_{ij} \tag{1}$$

式中: T ——土壤侵蚀指数; W_{ij} ——第 i 类第 j 级土壤侵蚀强度的分级值; A_{ij} ——第 i 类第 j 级土壤侵蚀强度的面积比重。赋予不同强度等级不同的分级值: 轻度、中度、强度、极强和剧烈的分级值分别为 2, 4, 6, 8, 10, 微度侵蚀的分级值为 0^[12]。该评价指数有效地结合了水蚀强度及其在研究区内的面积分布特征, 能够很好地反映长江上游地区土壤水蚀状况的空间分布规律。

表 1 土壤侵蚀分类分级标准

级别	平均侵蚀模数/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)		
	西北黄土高原区	东北黑土区/ 北方土石山区	南方红壤丘陵/ 西南土石山区
微度	< 1000	< 200	< 500
轻度	1000~ 2500	200~ 2500	500~ 2500
中度		2500~ 5000	
强度		5000~ 8000	
极强度		8000~ 15000	
剧烈		> 15000	

2 结果与分析

根据统计分析的结果和研究区的实际情况, 将降雨量划分为 10 级, 即年降雨量< 500 mm 为 1 级, 500~ 600 mm 为 2 级, 600~ 700 mm 为 3 级, 700~ 800 mm 为 4 级, 800~ 900 mm 为 5 级, 900~ 1000 mm 为 6 级, 1 000~ 1 100 mm 为 7 级, 1 100~ 1 200 mm 为 8 级, 1 200~ 1 300 mm 为 9 级, > 1 300 mm 为 10 级(见附图 1)。

根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190- 96) 中的分级标准, 对由通用土壤流失方程计算得到的土壤水蚀分布图进行重分类, 获得长江上游地区土壤水蚀强度分布图(见附图 2), 然后对各强度等级重新赋值, 以便计算土壤侵蚀指数(T)。

基于 ARC/ Info 中的 GRID 模块, 将降雨带分布图和重新赋值之后的水蚀状况分布图按式(1) 进行计算, 获得研究区土壤侵蚀指数分布图, 然后统计出不同水蚀强度的土壤侵蚀面积占长江上游总面积的比

例(见表 2), 及不同降雨带上的水蚀状况和土壤侵蚀指数(见表 3)。由表 2 可见, 长江上游地区不同水蚀强度的面积由微度至剧烈依次递减。其中, 微度侵蚀面积最大, 占整个长江上游面积的 68.1%; 剧烈侵蚀仅占 1.3%; 但是轻度以上水蚀面积比例达到 30% 以上(31.9%), 表明该地区水蚀形势不容乐观。

表 2 长江上游不同水蚀强度面积百分比 %

微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	轻度以上
68.1	22.3	4.7	2.0	1.6	1.3	31.9

表 3 不同降雨等级下水蚀面积百分比 %

降雨等级	轻度以上	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	T
1	8.2	91.8	7.1	0.8	0.2	0.1	0.0	19.4
2	8.7	91.3	7.5	0.8	0.2	0.1	0.1	21.1
3	17.6	82.4	14.5	1.7	0.7	0.4	0.2	45.8
4	19.5	80.5	15.2	2.4	0.9	0.6	0.4	54.4
5	39.1	60.9	32.0	3.8	1.5	1.0	0.7	104.1
6	41.1	58.9	28.3	6.1	2.7	2.3	1.7	132.6
7	44.1	55.9	28.0	7.8	3.2	2.7	2.4	152.0
8	45.7	54.3	28.7	7.8	3.3	3.1	2.7	160.5
9	43.4	56.6	29.6	6.7	2.7	2.5	1.9	141.0
10	46.1	53.9	33.4	6.3	2.5	2.2	1.7	141.7

从表 3 可以看出: (1) 轻度以上水蚀面积百分比随降雨量等级逐级递增。在降雨量等级为 1 时最小, 其值为 8.2%; 在降雨等级为 10 时, 达到最大, 其值为 46%; (2) 在任何降雨等级, 微度水蚀发生面积百分比均最大。在降雨等级 1 时, 其最大值为 91.8%, 在降雨等级为 10 时, 最小值为 53.9%; 在降雨等级大于 5% 之后, 波动幅度不大, 且都在 5% 以内。这主要是由于在年降雨量大于 900 mm 的地区, 水蚀随降雨量的增多逐渐由微度为主转为以轻度、中度以及更为严重的侵蚀为主。微度水蚀主要分布在我国西北干旱半干旱地区如青海、甘肃以及西藏东北、四川西北等地, 多年平均降雨量小于 800 mm, 约占整个长江上游面积的 1/3。(3) 轻度水蚀在降雨等级 4 以下面积百分比均小于 20%; 在降雨等级 5- 10 时, 面积百分比在 30% 左右波动, 其最大值为 33.4%。(4) 除微度和轻度侵蚀以外, 其他程度的侵蚀均以降雨量等级 8 为分水岭。1- 7 级随降雨量增大, 各程度水蚀面积百分比随之增大, 到 8 级以后, 虽降雨量在增大, 但侵蚀面积百分比有所减小。这主要是因为年降雨量数据是由次降雨量累加得到, 而侵蚀不仅与次降雨量有关, 还与降雨强度有关。(5) 在降雨量等级为 1, 即年降雨量小于 500 mm 时, 中度、强度、极强度水蚀均小于 1, 且不存在剧烈侵蚀; 在年降雨量小于 900 mm 时, 极强度和剧烈水蚀发生几率较小, 其面积百分比都不大于 1。(6) 土壤侵蚀指数峰值出现在降雨

量等级 8 上, 其值为 160.5。在降雨等级小于 8 时, 土壤侵蚀指数随降雨等级增大而加大, 在降雨等级大于 8 时, 侵蚀指数随降雨等级的增加而有所减小。在降雨等级小于 4 时, 侵蚀指数均小于 55, 这主要是由于在年降雨量小于 800 mm 时, 侵蚀以微度为主, 而微度水蚀对于土壤侵蚀指数的贡献率极小。

长江上游水蚀程度分布与降雨量分布局部存在显著差异, 但二者之间仍存在共同规律, 均呈现自西向东递增的趋势, 水蚀程度随降雨量的增大而加剧。江源区及川西北部, 多年平均降雨量小于 900 mm, 水蚀以微度为主。四川盆地及周围山地丘陵区, 降雨分布不均, 水蚀区域差异也较大, 如川西的甘孜、川中的雅安、峨眉等暴雨中心区水蚀较强, 以强度以上侵蚀为主, 而川东北的广元、巴中、遂宁、南充等地虽年降雨量不是最大, 为 1 000~1 200 mm, 但却是长江上游水蚀最为强烈的地区, 而成都平原区虽年降雨量在 1 000 mm 左右, 但侵蚀量则相对较小。川甘交界的武都以及陕西南部地区, 年降雨量在 700 mm 左右, 但侵蚀较为严重, 以中度以上为主。重庆北部地区降雨等级在 7~8 之间的地区侵蚀以强度以上为主; 云南西北金沙江下游地区、重庆西南以及湖北秭归、宜昌等地降雨等级在 7~8 之间的地区侵蚀以中、强度为主, 而贵州北部地区, 虽土壤侵蚀以中度为主, 但因主要是喀斯特地貌, 土层薄, 抗侵蚀性低, 土壤侵蚀仍较严重。这一结果与 2000 年长江上游土壤侵蚀遥感调查结果相似, 进一步揭示了长江上游水土流失的分布规律。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文基于长江上游地区 1961~2009 年 225 个县 135 个气象站的降雨量数据和通用土壤流失方程计算得到的土壤水蚀分布图, 采用空间插值、空间统计和空间叠加等方法对研究区不同降雨带上的水蚀状况进行了研究, 得到以下主要结论:

(1) 长江上游地区土壤水蚀以微度侵蚀为主, 但形势严峻, 轻度以上侵蚀面积占整个长江上游面积的 31.9%。

(2) 不同降雨带上土壤侵蚀指数相差悬殊, 随着降雨等级由低到高的变化, 该指数呈现出先增大后减小的特征, 其所对应的各侵蚀强度的组成面积比例也不断变化。

(3) 长江上游地区不同降雨带上土壤水蚀强度具有显著的空间分异规律, 四川盆地与陕、甘交界地段, 降雨等级在 4~5 之间, 重庆北部降雨等级在 7~8 之间的地区, 侵蚀均较为严重, 以强度以上为主; 云南西北金沙江下游地区、重庆西南以及湖北秭归、宜昌等

地降雨等级在 7~8 之间, 侵蚀以中、强度为主; 贵州北部地区, 虽土壤侵蚀以中度为主, 但因主要是喀斯特地貌, 土层薄, 抗侵蚀性低, 土壤侵蚀仍较严重。

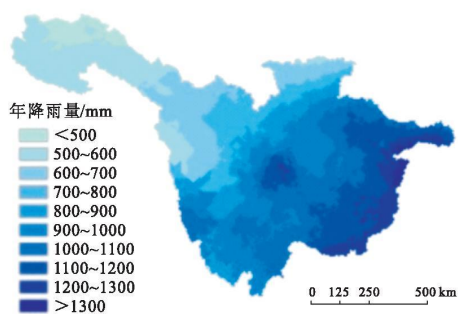
3.2 讨论

上述研究结果与 2000 年长江上游土壤侵蚀遥感调查结果基本一致, 本文在此基础上深入剖析了不同降雨带上各侵蚀强度的结构特征和空间分异规律。为进一步揭示长江上游水土流失的空间分布及成因提供借鉴, 为保护和恢复该地区生态环境提供决策依据。

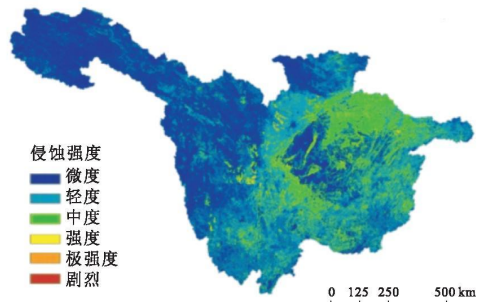
由于长江上游地势起伏大, 各地土壤侵蚀产生的主导因子复杂多样, 为防止、治理水土流失, 应采取的水土保持措施侧重点也有所区别, 如四川盆地及盆周山地侵蚀严重的地区, 土壤保持应以坡耕地治理为重点, 并结合工程措施和植被建设; 而川西南山地区、川西高山峡谷区以及川西北高原区, 土壤保持以封山育林, 调整农林牧结构, 加强植被建设为主, 结合工程措施, 防止滑坡、崩塌、泥石流灾害^[6]; 贵州喀斯特地貌地区, 土壤保持以退耕还林、封山育林为主, 结合植被建设和工程措施, 对严重地区实施生态移民。

参考文献:

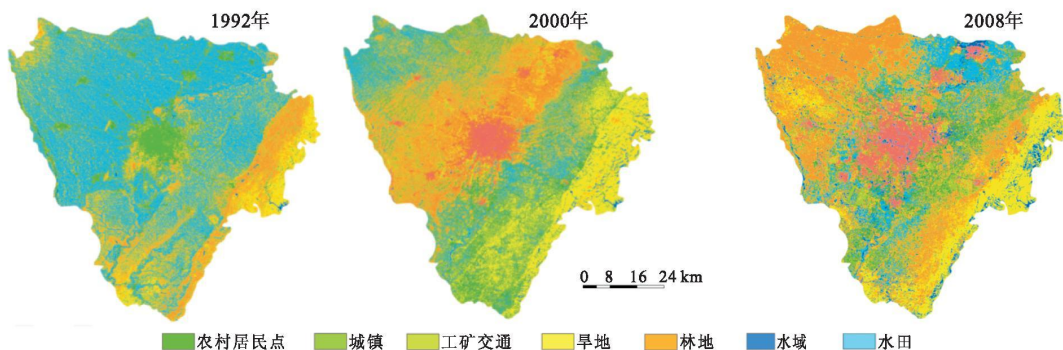
- [1] 杨晓. 退耕还林与长江上游水土流失治理研究[J]. 人民长江, 2010, 41(13): 105-107.
- [2] 崔鹏, 张小林. 中国水土流失防治与生态安全: 长江上游及西南诸河区卷[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [3] 柴宗新. 试论土地侵蚀[J]. 山地研究, 1996, 14(2): 117-121.
- [4] 章文波, 谢云, 刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 33-40.
- [5] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[Z]. U. S. Dep. Agric. Handb., No. 537, 1978.
- [6] Kinnell P I A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review [J]. Journal of Hydrology, 2010, 385: 384-397.
- [7] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] 陈国阶. 长江上游水土流失主要成因及防治政策[J]. 农村生态环境, 2000, 16(3): 5-8.
- [9] 弓小平, 程勳. 协克里格法在空间插值中的研究应用[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2009, 39(4): 533-537.
- [10] Ren Jing, Wang Yukuan, Fu Bin, et al. Soil conservation assessment in the Upper Yangtze River Basin Based on InVEST Model[C] // ISWREP 2011. Xi'an: IEEE, 2011: 1833-1836.
- [11] 张增祥, 赵晓丽, 陈晓峰, 等. 基于遥感和地理信息系统 (GIS) 的山区土壤侵蚀强度数值分析[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 77-83.
- [12] 杨存建, 刘纪远, 张增祥. 重庆市土壤侵蚀与其背景的空间分析[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 84-87.



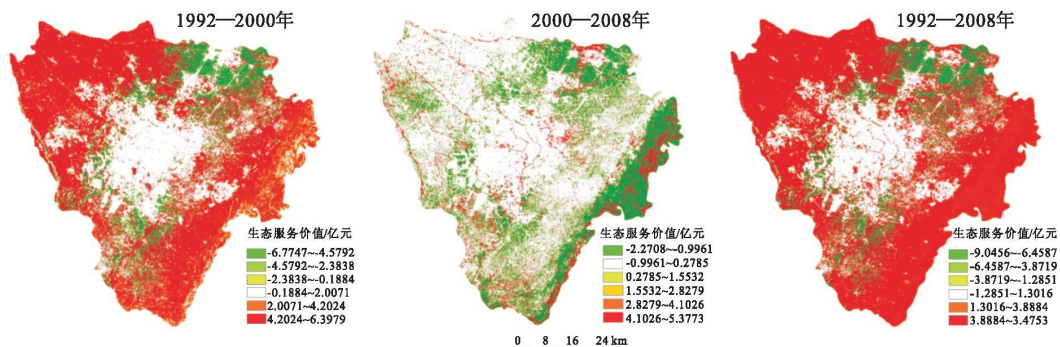
附图1 长江上游多年平均降雨量等级分布



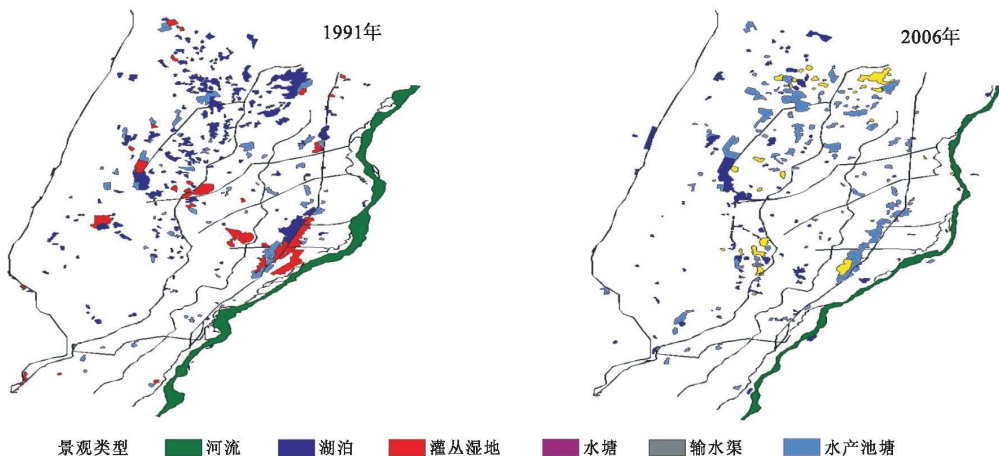
附图2 长江上游水蚀强度分布



附图3 1992—2008年研究区土地利用类型



附图4 1992—2008 年生态服务价值变化图



附图5 银川市两个时期湿地景观分布图