

北洛河流域植被覆盖度时空变化的遥感动态分析

陈妮¹, 李谭宝², 张晓萍³, 丑述仁⁴, 谢名礼¹, 刘二佳³

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 国家林业局 西北林业勘察设计院, 陕西 西安 710048; 3. 西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

摘要: 采用 1987、1995 及 2007 年 3 期 Landsat TM 遥感影像, 计算归一化植被指数 (NDVI), 利用像元二分法估算植被覆盖度并进行分级, 分析了北洛河流域近 20 a 的植被覆盖变化趋势, 对黄土高原地区环境演变及水沙变化机理分析提供基础数据信息。研究表明: (1) 在气候变化和人类活动双重影响下, 1987—2007 年北洛河流域植被呈缓慢增长—迅速增长趋势, 其流域植被覆盖面积比例从 41.12%, 46.43%, 增加至 63.43%。(2) 流域不同分区中, 丘陵沟壑区、高塬沟壑区植被均呈缓慢增加—迅速增加的趋势, 而土石山林区植被表现出较强稳定性。丘陵沟壑区植被恢复以吴旗、志丹县为主, 高塬沟壑区植被恢复以洛川塬为主。

关键词: 植被覆盖度; 时空变化; TM 影像; 北洛河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0206-05

中图分类号: S127, P208

Spatiotemporal Variations of Vegetation Coverage in Beiluo River Watershed Based on Remote Sensing Data Analysis

CHEN Ni¹, LI Tan-bao², ZHANG Xiao-ping³, CHOU Shu-ren⁴, XIE Ming-li¹, LIU Er-jia³

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Northwest Forest Inventory and Planning Institute of the State Forestry Administration, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry Land Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: The spatiotemporal trend of vegetation coverage in Beiluo River watershed was analyzed to understand the eco-environmental evolution and runoff—sediment behaviors on the Loess Plateau. TM images of 1987, 1995 and 2007 with a spatial resolution of 30 m were employed, the normalized difference vegetation index (NDVI) was then calculated, and the dimidiate pixel model was used to get vegetation coverage degrees and its classification. Results showed that (1) under the double influences of climate change and human activities, the vegetation coverage in Beiluo River watershed experienced the process of slow to rapid increase from 1987 to 2007. The vegetation coverage degrees for the whole watershed were 41.12%, 46.43% and 63.43% in 1987, 1995 and 2007, respectively. (2) The vegetation coverage both in the hilly-gully and tableland regions showed a slow to rapid trend from 1987 to 2007, and the rocky-mountain region kept the relatively stable forest coverage. The intense vegetation restoration mainly occurred in Wuqi and Zhidan Counties and Luochuan tableland in the watershed.

Keywords: fractional vegetation coverage; spatiotemporal variation; TM image; Beiluo River watershed

黄土高原地区是世界上水土流失最严重的地区之一。脆弱的生态环境, 加上人口增长过快, 陡坡开荒以及不合理的土地利用, 加速了土壤侵蚀, 生态系统严重退化^[1]。植被营造可以增强土壤抗冲刷能

力^[2-3], 削减雨滴动能^[3-4], 削弱洪峰, 延缓径流^[5], 从而遏制土壤侵蚀, 减少水土流失。植被恢复趋势及程度, 成为评价区域生态环境建设程度的重要指标。许多学者对黄土高原的植被覆盖状况进行了研究^[6-8],

收稿日期: 2012-07-05

修回日期: 2012-08-31

资助项目: 国家自然科学基金项目“北洛河水沙动态过程及对退耕还林(草)响应机理”(41101265); 国家自然科学基金重点项目“气候变化背景下黄土高原土地利用影响径流的空间尺度效应”(41230852); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-04-03-03)

作者简介: 陈妮(1988—), 女(汉族), 浙江省诸暨市人, 在读硕士, 研究方向为资源环境监测与评价。E-mail: cnskr@163.com。

通信作者: 张晓萍(1971—), 女(汉族), 河南省焦作市人, 研究员, 主要从事水土保持、土壤侵蚀、荒漠化防治、景观生态等方面研究。E-mail: zhangxp@ms.iswc.ac.cn。

总体上黄土高原 20 世纪 80 年代至 21 世纪初植被覆盖度在增加。1999 年以前,盐池—鄂托克—神木—鄂尔多斯一带、河套地区、宁夏沿黄灌区、泾河上游以及兰州、天水北部地区植被覆盖情况有所好转,但大部分区域无显著变化。1999 年以后,黄河中游地区,尤其是水土流失最为严重的丘陵沟壑区,其植被恢复态势最为明显,黄土高原植被覆盖呈显著增加趋势^[6-8]。

北洛河位于黄土高原的中南部,是渭河的支流。其上游属黄土丘陵多沙粗沙区,占流域面积的 26.9%,侵蚀产沙量却约占全流域的 70%,为黄河下游河道粗泥沙的集中来源区^[9]。中游为土石山林区和黄土高塬沟壑区,下游为阶地平原区。自 1999 年退耕还林(草)工程实施以来,上游吴旗县植被恢复效果显著,成为“全国退耕还林第一县”^[10]。北洛河流域植被恢复及其对流域水沙行为的影响机理在黄土高原地区的相关研究中具有典型性。目前对该流域的研究多集中在水沙演变方面^[9,11]及上游丘陵沟壑区的植被恢复状况^[10,12],而影响和决定侵蚀演变和发展的植被覆盖的变化趋势、恢复程度以及空间分布情况尚缺乏定量分析和研究。

本文以北洛河流域 1985,1995 及 2007 年 3 个不同时期的 Landsat TM 遥感影像为基本信息源,借助 Erdas 9.2, ArcGIS 9.3 等遥感影像分析及空间分析软件,估算了该流域植被覆盖度,并进行了植被覆盖度的时空变化分析,为黄土高原地区生态环境建设及水沙演变研究提供基础信息。

1 研究区概况

北洛河(107°33′33″—E110°10′30″E, 34°39′55″—37°18′22″N)是黄河的 2 级支流,发源于陕西定边县白于山南麓的草梁山,流经陕西省榆林、延安、铜川、渭南及甘肃省平凉 5 个地(市)的 18 个县(区),于陕西省大荔县东南汇入渭河。流域总面积为 2.69×10^4 km²,干流长 680 km,海拔 297~1 886 m。北洛河流域属半干旱气候区,多年平均(1954—1996 年)降雨量为 514.2 mm,降雨量由东南向西北逐渐减小,最大年降雨量为 797.6 mm(1958 年),最小年降雨量为 320.2 mm(1995 年),汛期(5—9 月)降雨量 391.9 mm,占年降雨量的 76.2%^[13]。流域中土壤类型主要有黄绵土、黑垆土和灰褐土等。黑垆土植被属于草原化草甸类型,以杂类草群落为主,植物种类多,生长繁茂。侵蚀作用下,黑垆土流失殆尽,流域现以黄绵土覆盖为主。灰褐土植被以旱生森林和灌丛草原为主,常见树种有辽东栎、榆、桦树、山杨等阔

叶树,灌丛由酸枣、荆条等组成。

根据流域地貌、地质、植被及水土流失等差异,同时考虑径流泥沙来源和水文站布设情况,将北洛河流域划分为黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、土石山林区、黄土阶地平原区(如图 1 所示)。刘家河水文站以上为丘陵沟壑区,占流域总面积 26.9%,山高坡陡,土层深厚,多为黄绵土,抗蚀力差,为黄土高原粗泥沙集中来源区。黄土高塬沟壑区塬面平整,沟谷重力侵蚀活跃,占流域面积的 23.2%。土石山林区,占流域面积的 41.9%,为落叶阔叶林带,植被覆盖度高,是黄土高原现存较好的天然次生林区,水土流失轻微。阶地平原区,原面平缓开阔,沟道发育少且浅,但边缘地区侵蚀也比较严重,占流域面积的 8.0%^[14]。本文按照这 4 个分区对流域植被覆盖演变进行研究。

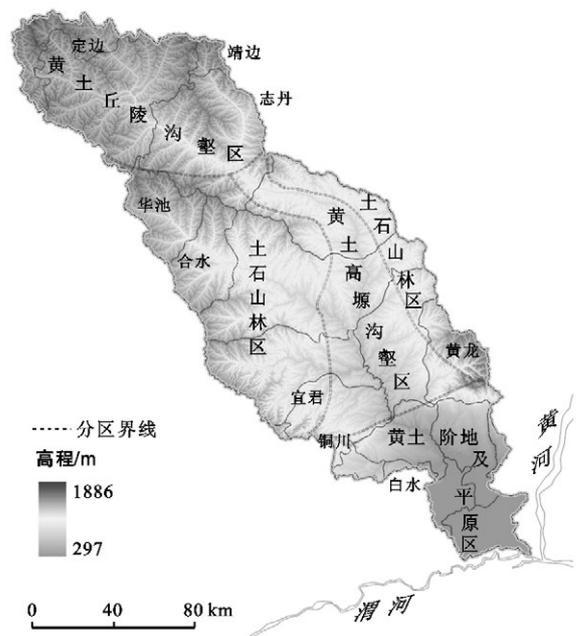


图 1 北洛河流域地形高程模型及区域划分

2 研究资料与研究方法

2.1 研究资料

1987,1995 年及 2007 年的 Landsat 5 TM 遥感影像信息如表 1 所示。1987 年和 1995 年数据来源于以往课题数据积累,2007 年数据下载于国际科学数据服务平台(<http://datamirror.csdb.cn/>)。以 2007 年已校正的 TM 影像为基准,采用二次多项式法对各时期遥感影像进行几何校正,校正误差(RMS)控制在 1 个像元以内。使用双线形内插法,对 1987 年的遥感影像再采样为 30 m 的空间分辨率,将所有影像投影设置为 WGS 84,实现遥感影像空间分辨率和投影的统一,为下一步分析做好准备。

表 1 北洛河流域遥感影像信息及参数

年份	卫星轨道号	成像时间	平均云量/%	原分辨率/m	原数据格式
1987	P126/R36	19861030	0	33	BSQ
	P127/R35	19870517	3	33	BSQ
	P127/R36	19871009	3	33	BSQ
	P128/R34	19870929	0	33	BSQ
	P128/R35	19870828	0	33	TIFF
1995	P126/R36	19900822	0	30	TIFF
	P127/R35	19950507	0	30	TIFF
	P127/R36	19950507	0	30	TIFF
	P128/R34	19910823	0	30	TIFF
	P128/R35	19950507	0	30	TIFF
2007	P126/R36	20070920	0	30	TIFF
	P127/R35	20070812	5	30	TIFF
	P127/R36	20070812	5	30	TIFF
	P128/R34	20070920	0	30	TIFF
	P128/R35	20070803	0	30	TIFF

为了增强数据的可比性,使相邻地区或同一地区的不同时相的影像光谱亮度一致,影像预处理还需包括辐射校正。对 3 期的影像进行直方图匹配,使遥感图像的波段光谱特征相类似,从而消除因太阳高度角或大气影响等因素造成的研究区不同时相影像效果差异。

2.2 研究方法

2.2.1 归一化植被指数的提取 作为植被生长监测的重要指标,归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)对土壤背景的变化较为敏感,在很大程度上可以消除地形和群落结构阴影的影响,削弱大气的干扰,增加对植被覆盖度监测灵敏性,是反映植被生态环境的重要指标^[15]。Landsat TM 遥感影像 NDVI 一般通过近红外波段(Band 4)与可见光红波段(Band 3)数值之差和这 2 个波段数值之和的比值来获得,计算公式为:

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad (1)$$

2.2.2 像元二分法估算植被覆盖度 为使植被指数能够定量地反映植被信息,研究选择像元二分线性模型估算植被覆盖度(fractional vegetation coverage, FVC),将 NDVI 指数转换为植被覆盖度,再对植被覆盖度进行等级划分,以达到对植被覆盖演变程度量化的目的,使植被生态景观面积变化的定量评价更为直观^[16]。植被覆盖度计算公式定义为^[17]:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (2)$$

式中:FVC——植被覆盖度值;NDVI——影像中各像元的 NDVI 值;NDVI_{soil}——全土壤覆盖像元的

NDVI 值;NDVI_{veg}——全植被覆盖像元的 NDVI 值。参考 Gutman^[18]、李苗苗^[19]等提出的估算 NDVI_{veg}和 NDVI_{soil}的方法,根据整幅影像上 NDVI 的灰度分布,以 0.5%置信度截取 NDVI 的上下限阈值分别近似代表 NDVI_{veg}和 NDVI_{soil},分别计算出 3 个时段的植被覆盖度。

为了便于比较分析研究区植被生长空间分布情况,需要将式(2)计算得到的植被覆盖度灰度影像进行分级。根据本研究试验区植被覆盖度的实际情况和样区统计特征值,采用等间距分级法^[8,20],将全区分为 5 个植被覆盖等级区:植被覆盖面积大于 80%的高覆盖度区,60%~80%的中高覆盖度区,40%~60%的中覆盖度区,20%~40%的中低覆盖度区和小于 20%的低覆盖度区。

2.2.3 植被覆盖度变化等级阈值确定 为了更好地描述研究区植被生长变化的程度,利用式(3)计算植被覆盖度变化情况^[21]。

$$D = FVC_i - FVC_j \quad (3)$$

式中:FVC_i——较晚年份(第*i*年)的植被覆盖度;FVC_j——较早年份(第*j*年)的植被覆盖度。基于式(3)的植被覆盖度变化计算结果,设置阈值进行标准化分级确定植被覆盖度变化等级区域。根据本研究试验区植被覆盖度变化的实际情况,将全区分为 5 个植被覆盖度变化等级区: $D < -20\%$ 为严重退化区, $-20\% \leq D < -5\%$ 为轻微退化区, $-5\% \leq D < 5\%$ 为稳定区, $5\% \leq D < 20\%$ 为轻微改善区, $D \geq 20\%$ 为强烈改善区。

3 结果与分析

3.1 北洛河流域植被演变趋势及分布特征

北洛河流域 3 个时期植被覆盖度如附图 6 所示。1987,1995,2007 年的流域平均植被覆盖面积分别为 41.12%,46.43%和 63.43%,总体上,3 个时期植被覆盖度呈现先缓慢增加,后迅速增加的趋势,与其他研究中黄土高原相应 3 个时期的植被覆盖演变趋势相一致^[6-8]。

如表 2 所示,1987 年植被覆盖度较低,其中低覆盖度区占流域面积最大,为 33.36%,其次为中低覆盖度区,为 25.7%,中高和高覆盖度区面积为 30.08%,中覆盖度区为 10.85%。高覆盖和中高覆盖区植被主要分布在土石山林区,中低和低覆盖区植被主要分布在丘陵沟壑区、高塬沟壑区以及阶地平原区。

1995 年植被覆盖度总体上小幅度上升。各级别中,高覆盖区面积明显增长,达到 22.46%,较 1987 年增长了 5.91%,中高、中和中低覆盖区轻微增长,

分别增长了 0.4%, 1.16% 和 0.49%。流域中高和高植被覆盖区面积为 36.40%。低植被覆盖区明显减少, 由 1987 年的 33.36% 减至 25.40%。

流域中植被覆盖轻微改善, 但高和中高植被覆盖区分布仍以土石山林区为主, 丘陵沟壑区、高塬沟壑区以及阶地平原区以中低和低覆盖区植被分布为主。阶地平原区大荔县的植被明显差异主要由影像时相差异导致。

2007 年植被覆盖状况较 1995 年又有大幅度改善。高、中高和中覆盖度区占流域面积明显增加, 增加量分别达 7.79%, 14.89% 和 10.42%, 中高和高植被覆盖区占流域面积达到 59.09%, 中低、低覆盖度区占流域面积分别减少了 11.68% 和 21.43%。流域中高和高植被覆盖分布仍以土石山林区为主, 但丘陵沟壑区、高塬沟壑区植被覆盖情况明显好转, 以中覆盖度为主。

表 2 北洛河流域植被覆盖度等级统计

年份	低覆盖度 (0%~20%)		中低覆盖度 (20%~40%)		中覆盖度 (40%~60%)		中高覆盖度 (60%~80%)		高覆盖度 (80%~100%)	
	面积/km ²	比例/%								
1987	8 960.62	33.36	6 904.05	25.70	2 915.61	10.85	3 638.02	13.54	4 444.37	16.54
1995	6 819.62	25.40	7 030.27	26.19	3 223.71	12.01	3 742.50	13.94	6 028.11	22.46
2007	1 071.30	3.98	3 905.01	14.50	6 039.76	22.43	7 763.56	28.84	8 143.62	30.25

3.2 流域植被覆盖变化程度区域差异

由附图 6 可知, 1987—1995 和 1995—2007 年 2 个时段的植被变化差异显著。从变化程度分析, 前时段以轻微改善及稳定变化为主, 而后时段以强烈改善和轻微改善为主。

1987—1995 年流域植被演变情况如图 2 所示。轻微改善区占 31.3%, 主要位于高塬沟壑区和阶地平原区, 稳定区占流域面积的 30.15%, 以丘陵沟壑区和土石山林区为主。各分区中, 丘陵沟壑区、高塬沟壑区和土石山林区均以稳定变化和轻微改善程度为主, 分别占各分区面积的 70.78%, 57.12% 和 63.66%。其中丘陵沟壑区植被改善程度最低, 空间上植被覆盖度变化有较强的一致性(附图 6)。高塬沟壑区南部植被变化程度有轻微退化趋势, 中、北部则以轻微改善和强烈改善为主。土石山林区的华池县植被覆盖度呈现明显的下降趋势, 其余地区则主要为

轻微恢复区。阶地平原区以强烈改善和轻微改善程度为主, 占该分区面积的 67.87%, 植被覆盖恢复程度最高。

1995—2007 年流域植被覆盖度恢复迅速, 强烈改善区占 44.69% 的面积, 主要位于丘陵沟壑区、高塬沟壑区和阶地平原区。轻微改善区占 23.47%, 主要分布在丘陵沟壑区和土石山林区。各分区中, 丘陵沟壑区、高塬沟壑区和阶地平原区均以轻微改善和强烈改善程度为主, 分别占各分区面积的 87.33%, 87.78% 和 71.82%。其中丘陵沟壑区的植被恢复主要以吴旗、志丹县为主, 从图像上可以看出以吴旗、志丹 2 县县界为边界的植被覆盖度增长区, 这一结论与吴旗县实际的植被恢复情况十分吻合^[10,12]。高塬沟壑区的植被覆盖改善程度最大, 主要位于洛川塬面上。阶地平原区植被恢复主要以白水縣和銅川市为主。土石山林区植被改善程度最低, 以稳定变化程度为主。

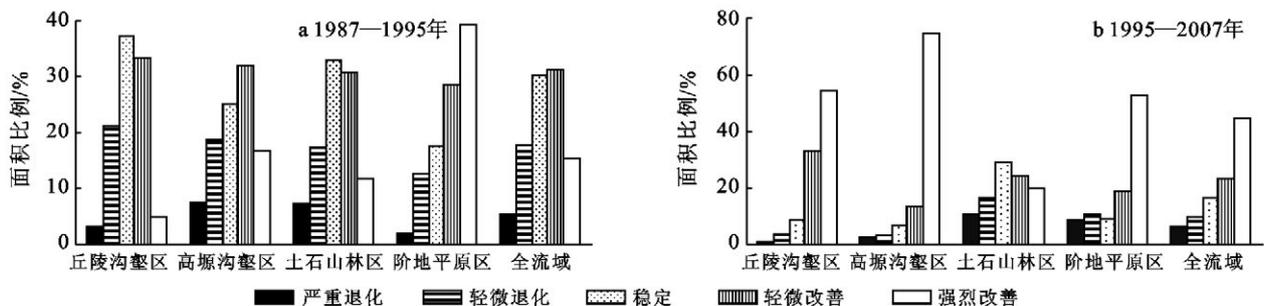


图 2 北洛河流域及各分区植被覆盖度变化分级

北洛河流域不同地貌类型分区植被覆盖度时空变化呈现出很大的差异性, 原因除了地貌类型不同外, 主要还受到气候变化和人类活动影响。首先, 根据前人研究结果显示, 1987, 1995 和 2007 年 3 个时

期, 黄土高原年降水量、气温均呈上升趋势, 且 1995—2007 的年降雨量增长幅度要明显高于 1987—1995 年^[7], 这与北洛河流域植被覆盖呈现的缓慢增长—迅速增长趋势正好吻合。其次, 自 1999 年启动

的退耕还林(草)的植被建设工程对提高流域植被覆盖起到了积极作用^[22]。

然而,农业生产水平的提高、频繁的农业活动都可能影响到植被覆盖的变化^[23]。流域中阶地平原区农作物及高塬沟壑区的经济作物的分布面积广泛,对这 2 个地区植被覆盖变化程度影响很大,同时也受到影像时相的影响,结论误差可能较大。

4 结论

北洛河流域植被生长变化及恢复状况是黄土高原生态环境变化的一个重要部分,本研究基于 1987, 1995, 2007 年 Landsat 5 TM 遥感影像,比较分析北洛河流域及各区域 20 a 来植被覆盖度及时空变化,结论如下。

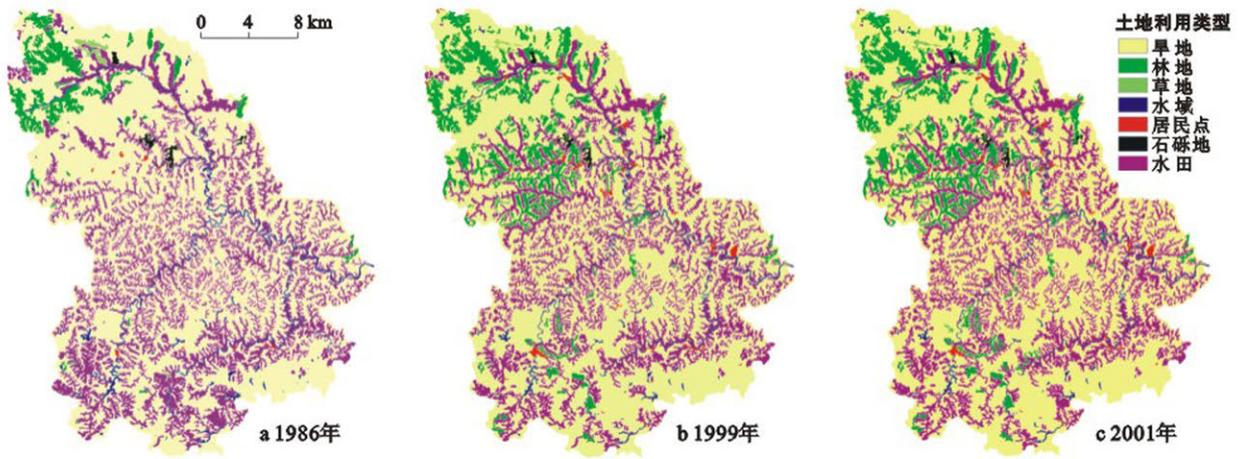
(1) 1987—2007 年,北洛河流域植被覆盖面积总体呈现缓慢增长—迅速增长趋势,是受黄土高原同期气温、降雨量呈上升趋势和受退耕还林(草)、封山育林和荒山造林等植被建设措施的大规模实施的影响的结果。

(2) 流域不同分区的植被变化差异性较大,1987—2007 年,丘陵沟壑区、高塬沟壑区和阶地平原区植被均呈缓慢增加—迅速增加的趋势。其中丘陵沟壑区植被恢复区以吴旗、志丹县为主,高塬沟壑区植被恢复区以洛川塬为主,阶地平原区植被覆盖整体呈增加趋势,但大荔县植被变化不定,土石山林区植被恢复则一直呈稳定增加趋势,恢复程度最低,植被呈现出较强的稳定性。

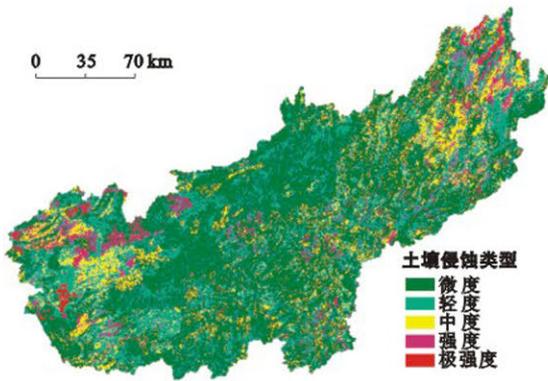
受数据限制,本研究中没有排除农业用地植被覆盖信息。因此,农业活动以及植被建设在北洛河流域植被覆盖时空演变过程中所起作用及其影响机制,仍需进一步的研究。

[参 考 文 献]

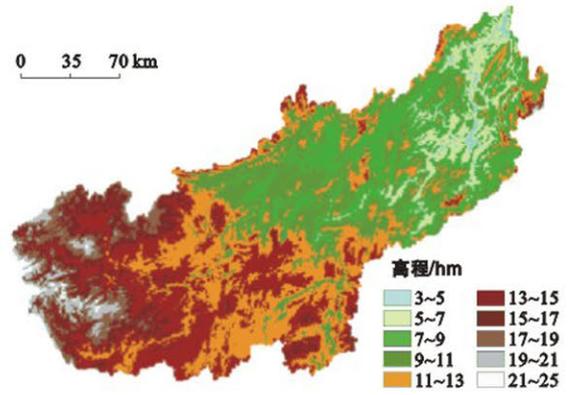
- [1] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [2] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [3] 邹厚远, 程积民, 张玉钧. 陕北黄龙山植被保持水土的研究[J]. 水土保持通报, 1981, 2(2): 39-41.
- [4] 刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 森林植被垂直截留作用与水土保持[J]. 水土保持研究, 1994, 5(3): 8-13.
- [5] 钟祥浩, 程根伟. 森林植被变化对洪水的影响分析: 以长江上游典型小流域和洪水事件为例[J]. 山地学报, 2001, 9(5): 413-417.
- [6] 信忠保, 许炯心. 黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应[J]. 自然科学进展, 2007, 17(6): 770-778.
- [7] 张宝庆, 吴普特, 赵西宁. 近 30 a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 287-293.
- [8] 孙艳萍, 张晓萍, 徐金鹏, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错带植被覆盖时空演变分析[J]. 西北农林科技大学学报, 2012, 40(2): 143-150.
- [9] 景可. 泾河、北洛河泥沙输移规律[J]. 人民黄河, 1999, 21(12): 18-19.
- [10] 杨光, 丁国栋, 赵廷宁, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕还林的水土保持效益研究: 以陕西省吴旗县为例[J]. 内蒙古农业大学学报, 2005, 26(2): 20-23.
- [11] 康玲玲, 魏义长, 张胜利, 等. 北洛河流域近期水沙变化原因水文分析[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5): 41-48.
- [12] 连振龙, 刘普灵, 陈翠红, 等. 黄土丘陵沟壑区林草植被恢复的减沙效益研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 10-13.
- [13] 冉大川, 刘斌, 王宏, 等. 黄河中游典型支流水土保持措施减洪减沙作用研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006.
- [14] 徐文梅, 李亚妮, 廉振民, 等. 北洛河流域退化植被的生物恢复措施[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(5): 51-54.
- [15] Xu Xiaoni, Hirata E, Tokashiki Y, et al. Structure and species diversity of subtropical evergreen broad leaved forest in northern Okinawa Island [J]. Japan J. For. Res., 2001, 6(3): 203-210.
- [16] Wittich, Hansing. Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data [J]. International Journal of Biometeorology, 1995, 38(3): 209-215.
- [17] Chen Yunhao, Li Xiaobing, Shi Peijun. Landscape spatial-temporal pattern analysis on change in the fraction of green vegetation based on remotely sensed Data: A case study in haidian District, Beijing [J]. Acta Ecological Sinica, 2002, 22(10): 1581-1586.
- [18] Gutman G G. Vegetation indices from AVHRR: An update and future prospects [J]. Remote Sensing of Environment, 1991, 35(2/3): 121-136.
- [19] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2003: 1-111.
- [20] 李登科, 范建忠, 王娟. 陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2896-2903.
- [21] Nelson R F. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS [J]. Photogrammetric Engineering Remote Sensing, 1983, 48(10): 1243-1251.
- [22] 宋富强, 杨改河, 冯永忠. 黄土高原不同生态类型区退耕还林(草)综合效益评价指标体系构建研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 118-126.
- [23] 许炯心. 农村社会经济因素变化对嘉陵江产沙量的影响[J]. 山地学报, 2006, 24(4): 385-394.



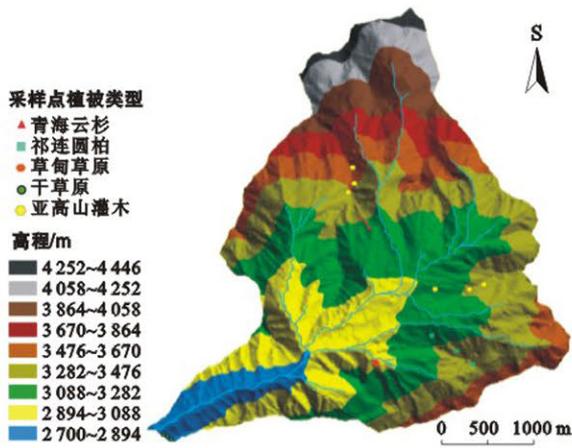
附图1 四川省紫色丘陵区不同时期土地利用类型



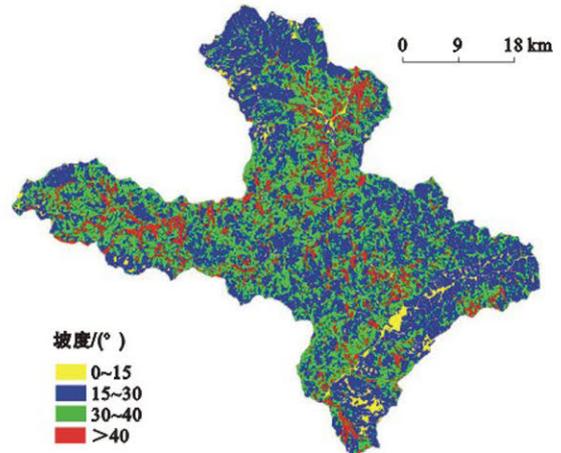
附图2 2000年乌江流域土壤侵蚀类型



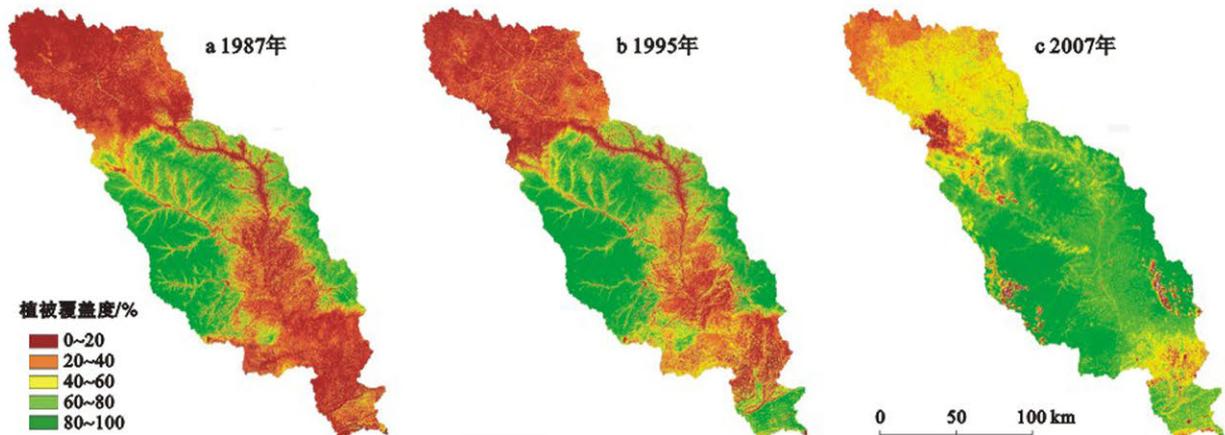
附图3 乌江流域高程等级分布



附图4 采样点在天老池流域中的分布



附图5 四川省茂县坡度分布



附图6 北洛河流域1987,1995和2007年植被覆盖度对比