

20年来乌兰木伦河流域植被盖度变化及影响因素

邓飞^{1,2}, 全占军², 于云江²

(1. 常州大学 环境与安全工程系, 江苏 常州 213164; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:选取乌兰木伦河流域 1986 年、2002 年和 2008 年同期(9 月)的 3 景 TM 遥感影像, 基于归一化植被指数 NDVI, 提取出植被覆盖等级图。通过对 3 个时期不同植被盖度类型的比较分析, 得出如下结论: 乌兰木伦河流域植被盖度变化趋势明显, 沙地和低盖度植被面积大幅减少(减少了 45.21%), 中高盖度植被面积大幅增加(增加了 1.56 倍), 植被覆盖情况好转, 表现为总体改善, 局部恶化。该区出现植被好转的原因主要有两个方面: 一是气候因素中的降水, 二是人为因素中的退耕还林、还草和荒漠化治理, 而这些影响因素中尤其以降水为主导。相关性分析结果表明, 该区植被盖度与降水之间表现出较高的相关性。另外, 煤矿开采对该区植被影响是双重的, 总体而言, 有利影响大于不利影响。

关键词: 植被盖度; NDVI; 降水量; 乌兰木伦河

中图分类号: X171.4; P901

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0137-04

Study on the Vegetation Coverage Change and Its Impact Factors in Wulanmulun River Basin During the Recent 20 Years

DENG Fei^{1,2}, QUAN Zhan-jun², YU Yun-jiang²

(1. School of Environment & Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou, Jiangsu 213164, China;

2. Chinese Research Academy of Environment Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The grade maps of vegetation coverage were extracted by selecting 3 sceneries of Landsat TM image of 1986, 2002 and 2008 during Sep. in Wulanmulun River watershed, based on NDVI and the quantificational model of remote sensing. Through contrasting and analyzing the vegetation coverage of different grades in 3 phases, the results showed that the variable tendency of the vegetation coverage was obvious, despite deterioration in the limited areas, the overall situation was still getting better. The area of sand and low vegetation coverage significantly reduced (reduced by 45.21%), and the area of high vegetation coverage increased significantly (increased by 1.56 times). There would be two main reasons for vegetation improvement: one was climate factor such as precipitation, another was artificial factor such as returning farmland to forests & grasslands and combating desertification. In particular, the most important impact factor should be precipitation. The results of correlation analysis showed that the correlation coefficient between the area of vegetation coverage and precipitation was very high in test area. In addition, the influence of coal mining on vegetation might be twofold. Overall, there are more beneficial effects than negative effects.

Key words: vegetation coverage; NDVI; precipitation; Wulanmulun River

乌兰木伦河流域煤炭资源储量丰富,但同时,该区位于半干旱区,生态环境极其脆弱。20 世纪八十年代至九十年代,该区煤炭开发多以小煤矿为主,开采面积和强度较小,对生态环境的影响甚微。2000 年以后,随着开采强度增大,对当地生态环境的影响逐渐显现^[1-2]。该区作为国家煤炭资源开发的热点地

区,生态环境质量对于该区生态安全具有十分重要的意义。植被盖度是生态环境质量的一个重要指标,它对地形、地貌、土壤、水文条件、气候以及人为活动等的影响最为敏感,能很好地指示区域生态环境的变化^[3]。因此,研究该区植被覆盖度的变化对深入了解该区生态环境质量变化具有积极意义。

收稿日期: 2010-11-10

修回日期: 2011-03-23

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务项目(2009KYYW06); 中央级环保公益项目(200909101)

作者简介: 邓飞(1985-),男,四川绵阳人,硕士研究生,主要从事西部采煤区生态风险方面的研究。E-mail: dengfei827@163.com

通信作者: 于云江(1962-),男,内蒙古人,博士,研究员,主要从事环境与健康方面的研究。E-mail: yuyj@craes.org.cn

对于植被覆盖信息的提取,传统方法大多依据地面样方来估算植被覆盖度。由于植被覆盖具有显著的时空分异特点,依靠传统方法花费巨大的人力、财力,但精度不高^[4],不利于大范围、多时相的植被覆盖信息的提取,而采用遥感手段可以快速提取大范围的植被信息。在利用遥感影像构造的各类植被指数中,归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,简称 NDVI)^[5]应用最为广泛。由于 NDVI 与植被覆盖度、植被绿度、植被生产力等具有很好的线性关系^[6],国内学者在利用 NDVI 估算植被盖度变化方面做了大量研究。丁建丽^[7]以策勒县作为研究区,研究了基于 NDVI 的荒漠绿洲植被生态景观格局变化。陈芳^[8]通过 NDVI 研究了黄土丘陵沟壑区退耕还林还草监测及效果评价,王宏^[9]等研究了中国北方温带草原植被盖度变化,利用基于遥感数据和降水量的线性分解模型来估测不同植被类型盖度。

本文选取 1986 年、2002 年和 2008 年 3 个时段的同期 TM 影像,根据植被归一化指数估算出植被盖度。通过对比分析 3 个年份的植被盖度变化,研究该流域植被变化的趋势,探讨该区植被覆盖变化的因素,为该区生态环境恢复治理提供理论参考和科学依据。

1 研究区概况

乌兰木伦河位于黄河一级支流窟野河的上游,由内蒙古鄂尔多斯流入陕西省神木县境内。坐标位置为东经 109°33′–110°10′,北纬 39°01′–39°01′。乌兰木伦河全长 138 km,流域面积 1 207 km²。研究区海拔高度 1 150~1 524 m,地势西高东低,北高南低,总体呈西北向东南倾斜,是亚洲中部草原向荒漠草原过渡的半干旱、干旱地带。区内中、西部为坡梁起伏的鄂尔多斯高原地貌,地表干燥剥蚀,多为风积沙,部分地区有大小不等起伏不平的沙梁沙滩,属荒漠性草原;东部为晋陕黄土高原北缘,水蚀沟壑丘陵地貌。该区属温暖型半干旱气候,冬季严寒而漫长,夏季炎热而短暂。区内光能资源丰富,日照充足,年平均日照 2 871 h,多年均温 6.2~7.2℃,1 月均温 -11~-8℃,7 月均温 22~24℃,极端最低温度 -28~-32℃,≥10℃积温约为 2 500~3 800℃。多年平均降水量 340~450 mm,受季风影响,降水量在年内分配极不均,主要集中在 6~9 月,占年总降水量的 68.5%~71.3%,降水量在年际间的变化也较大。蒸发剧烈,多年平均蒸发量高达 1 753.8~1 978.7 mm,干燥度 2.5~3.0。该区在地理位置上属于农牧交错地带,在气候上属于温暖型半干旱气候向干旱性

气候过渡,这种地理和气候上的过渡性造成了该区生态环境脆弱的特征。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

2.1.1 数据来源 遥感影像采用陆地资源卫星 Landset 5 获取的研究区 TM 影像,由中国遥感卫星地面站提供,时段分别为:1986 年 9 月、2002 年 9 月和 2008 年 9 月,分辨率 25 m×25 m;DEM 数据来源于中国科学院国际科学数据服务平台(<http://data-mirror.csdb.cn>),分辨率 30 m×30 m;水文、降水量资料来源于乌兰木伦河王道恒塔水文站。该地区 9 月份植被长势最好,可较好体现植被和土地利用状况,使多年植被覆盖变化具有可比性。

2.1.2 数据处理 投影变换及图像配准。TM 数据为中国遥感卫星地面站三级处理数据,经过辐射校正和几何校正,同时采用地面控制点改进几何精度。将 TM 坐标系转换为 WGS84 坐标系,完成三期 TM 影像的配准工作。

研究区影像提取。通过 DEM 数据计算出乌兰木伦河流域边界,确定研究区范围。并通过掩膜(MASK)裁剪出研究区 TM 影像。

2.2 归一化植被指数计算

2.2.1 归一化植被指数(NDVI) 植被指数是遥感分析中最具明确意义的指标之一,是基于植被叶绿素在 0.69 μm 处的强吸收,通过红外与近红外波段的组合实现对植被信息状态的描述^[3]。它能够敏感地反映出植被生长状况、理化性质及生态系统参数的变化,在一定程度上反映了像元所对应区域的植被情况和土地覆盖类型。因此,NDVI 常被用于研究植被或土地覆盖变化。通过 TM 多波段运算求 NDVI 公式:

$$NDVI = (TM_4 - TM_3) / (TM_4 + TM_3)。$$

式中:TM₄——近红外波段;TM₃——红外波段。

2.2.2 NDVI 计算与盖度转换 在 ERDAS IMAGE 9.0 中,通过 model 模块编辑 NDVI 计算公式,输入 TM 影像,进行 NDVI 计算,输出研究区 NDVI 灰度图,分别得出研究区 3 个时期的 NDVI 灰度图。

关于 NDVI 与盖度的转换研究已有很多^[3-4,7],参考已有的成果,本文采用如下转换公式^[11]:

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

式中:F_c——植被盖度;NDVI_{min}——像元内最小归一化植被指数;NDVI_{max}——像元内最大归一化植被指数。由于存在噪声的影响,NDV_{I_{min}}与 NDV_{I_{max}}不

能直接由 NDVI 灰度图统计出来的最大和最小值代替。根据李苗苗^[3,11]等人的经验, 本文对其取值时, 取 NDVI 频率累积表上频率为 0.5% 的 NDVI 为 $NDVI_{min}$, 取频率为 99.5% 的 NDVI 值为 $NDVI_{max}$ 。并在 ERDAS IMAGE 9.0 软件中通过 Modeler 实现植被覆盖度定量转换, 得到不同时相的植被覆盖度灰度图。

2.3 盖度分级

植被盖度的分级没有统一标准, 已有研究中植被覆盖度分级的阈值也不尽相同^[9-11]。参考已有研究中所提到的阈值, 同时结合该区干旱半干旱植被生态特征, 把研究区植被盖度分为 5 个等级。确定乌兰木伦流域植被盖度的分级标准为: 沙地为 0, 低盖度为 0 ~ 10%, 中低盖度为 10% ~ 30%, 中盖度为 30% ~ 60%, 高盖度为 60% ~ 100%。

各覆盖度等级的植被所对应的地物如下: 沙地: 地表几乎没有植被覆盖, 多为流动沙地, 多见于该区中上游毛乌素沙地边缘; 低盖度: 植被覆盖度 0 ~ 10%, 对应于低盖度沙地、撂荒地、居民点、水域和交通用地等; 中低盖度: 植被覆盖度 10% ~ 30%, 对应于地面半固定沙地、低产草地、疏林地、严重退化土地等; 中盖度: 植被覆盖度 30% ~ 60%, 对应于地面固定沙地、中高产草地、林地、农田等植被; 高盖度: 植被覆盖度 60% ~ 100%, 对应于优良草地、沟谷中的密灌地、密林地、优质耕地等。

在 ERDAS IMAGE 9.0 和 ARCGIS 9.3 软件中, 对植被盖度灰度图进行密度分割, 结合野外实际调查情况, 确定各类别与盖度对应关系, 并赋予相应的颜色, 得到不同时期的植被覆盖度等级图。

3 结果与分析

3.1 不同时期植被盖度变化

乌兰木伦河流域 1986–2008 年植被覆盖情况见附图 7、表 1。从附图 7 可以看出, 乌兰木伦河流域植被覆盖变化明显。1986 年, 该流域 443.94 km² 的土地被沙漠覆盖, 占流域总面积的 36.80%, 低盖度面积 418.65 km², 占流域总面积的 34.71%。沙地和低盖度合计 862.59 km², 占该流域总面积的 71.51%, 而中低盖度、中盖度和高盖度分别仅为 12.63%、9.72%、6.14%。说明当时该流域沙漠化程度极为严重。

1986–2002 年间, 沙地面积大幅度减少, 沙地面积减少到 258.51 km², 减少了 185.43 km², 减少幅度达 41.8%。低盖度面积减少到 342.38 km², 减少了 76.27 km², 减少幅度达 18.2%。2002 年, 研究区内中低

盖度、中盖度和高盖度面积比例分别上升到 18.49%、20.98%、10.73%。说明 1986–2002 年间, 该区沙漠化进程得到有效逆转, 植被覆盖情况大幅度好转。

2002–2008 年间, 该区植被覆盖度进一步增大, 沙地面积进一步减少到 214.86 km², 低盖度面积减少到 257.68 km², 两者占该区总面积比重下降到 39.17%。同时, 中低盖度、中盖度和高盖度分别提高到 20.18%、28.09%、12.56%。

从表 1 可以看出, 总体而言, 近 20 a 来, 乌兰木伦河流域内沙地及低盖度植被面积逐年减少, 中高盖度植被面积逐年增加, 沙漠化趋势得到有效逆转。但是, 从区域上来看, 乌兰木伦河河道两岸的植被盖度较低, 甚至出现了局部植被覆盖恶化的情况, 这主要是由近年来乌兰木伦河沿岸人为活动(采矿、城镇扩张)加剧导致的。

3.2 植被盖度变化影响因素分析

3.2.1 自然、气候因素 决定植被类型的主要生态因子是降水、热量, 另外, 土壤类型也影响植被分布。该区位于半干旱区, 年均降水少, 年内和年际分配极为不均, 蒸发极为强烈。从图 1 可以看出, 20 世纪 80 年代以来, 乌兰木伦河流域多年平均降水量保持在 400 mm 左右。为了分析降水量对该区植被覆盖变化的影响, 提取 TM 数据获取年及其前一年的降水量数据: 1985–1986 年, 2001–2002 年, 2007–2008 年(见表 2), 在 SPSS 13.0 中, 将植被盖度与降水量进行相关性分析。

表 1 乌兰木伦河流域 1986 年、2002 年、2008 年植被覆盖面积

盖度	1986 年		2002 年		2008 年	
	面积/ km ²	比例%	面积/ km ²	比例%	面积/ km ²	比例%
沙地	443.94	36.80	258.51	21.43	214.86	17.81
低	418.65	34.71	342.38	28.38	257.68	21.36
中低	152.35	12.63	222.99	18.49	243.43	20.18
中	117.28	9.72	253.04	20.98	338.85	28.09
高	74.07	6.14	129.38	10.73	151.46	12.56
总计	1206.29	100	1206.30	100	1206.28	100

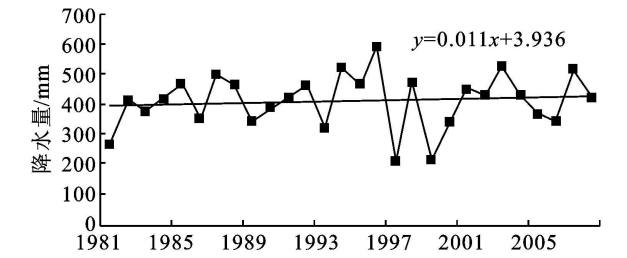


图 1 乌兰木伦河流域 1980–2009 年降水拟合趋势线

通过三个区间年份的降水量与植被盖度相关性分析, 可以看出, 植被盖度与降水量变化间存在很好的相关性, 降水量与沙地和低盖度存在很好的负相

关, 相关系数分别达- 0. 949 和- 0. 998。降水量与中低盖度、中盖度和高盖度的相关系数分别为: 0. 959, 0. 994, 0. 976, 相关性较高。从降水量和植被盖度的相关性分析可以看出, 随着降水量的增加, 该区植被盖度显著提高。

表 2 乌兰木伦河流域 1985 — 2008 年降水量 mm						
年份	1985	1986	2001	2002	2007	2008
降水量	466. 2	352. 2	447	432. 5	516	419. 7
平均值	409. 2		439. 75		467. 85	

气候变化也是影响该区植被分布的重要因子。已有研究指出^[12-13], 20 世纪 80 年代以来, 我国西北地区的气候出现由暖干向暖湿转变的强劲信号, 其结果导致我国西北地区过去的 10 多年里降水量、径流量增加, 植被改善。同时, 夏季降水量增加, 秋季降水量减少, 从而维持全年降水量基本保持不变。而夏季降水的增加有利于植被的生长, 在植被生长季节, 水热同步增加显然能加速植被生长, 这是我国气候变化与植被生长关系的一大特点^[14]。

3.2.2 人为、社会因素 人为、社会因素对该区植被盖度变化有极大的影响。其中, 煤炭资源开发、退耕还林和荒漠化治理是最主要的因素^[1, 15-16]。乌兰木伦河流域上游属于东胜煤田, 下游属于神府煤田, 两者合称为神府- 东胜煤田, 开采规模和产量为世界八大煤田之首。该区煤炭开发始于 20 世纪 80 年代, 以国有大型煤矿为主, 20 世纪 90 年代开发加速, 2002 年后年煤炭产量超过 1 亿 t。通过表 3 可以看出^[17], 该区 1986— 2008 年间, 煤炭产量呈爆发式增长。煤炭开发对局部地区植被造成不利影响, 从附图 8 可以看出, 煤矿聚集的区域植被盖度较低。

但总体而言, 随着煤炭资源的开发, 矿区居民生活水平提高, 经济来源增加, 对土地需求减少; 采空区地表塌陷导致农田破坏, 矿区村民搬迁, 使得区内农业人口减少, 导致一些原本生产力很低的土地被弃耕, 恢复为自然植被; 同时, 由于煤炭资源开发促进当地经济的快速增长, 使得用于生态环境治理的经费增加。以上这些因素造成了该区植被总体改善、局部恶化的特征。

该区植被恢复的另一个因素是荒漠化治理和退耕还林。榆林市从 1999 年开始实施退耕还林还草工程。经过近 20 a 的努力, 完成退耕还林 5 010 km², 其中退耕还林 1 859. 3, 3 076. 1 km², 封山育林 74. 6, 4 000 km², 流沙得到固定和半固定^[18]。

表 3 1986 年、2002 年、2008 年乌兰木伦流域产煤量 万 t			
年份	1986	2002	2008
煤炭产量	60	5000	11780

4 结 论

乌兰木伦河流域近 20 a 来植被盖度变化明显。沙地和低盖度面积大幅减少, 所占面积比例由 1986 年的 71. 51% 减少到 2008 年的 39. 17%。中高盖度面积比例大幅增加, 由 15. 86% 增加到 40. 65%。沙漠化进程得到有效逆转, 植被覆盖表现出总体改善、局部恶化的特征。

植被盖度变化的影响因素是多方面的, 既有自然因素又有社会人为因素。自然因素中降水量与植被盖度间存在很好的相关性: 降水量与中、高盖度面积间的相关性系数达 0. 959, 0. 994, 0. 976, 与沙地及低盖度面积间的相关系数分别达- 0. 949, - 0. 998。

社会人为因素在该区的植被恢复过程中也起到了极大的作用, 主要为以下两点: (1) 煤矿开采。煤矿开采对生态系统的影响是多方面的, 既有有利影响(促进经济发展, 使生态环境保护的经费增加), 又有不利影响(地表塌陷、地下水水位下降、影响地表植被生长), 但总体而言, 有利影响大于不利影响。(2) 沙漠化治理和退耕还林。该区沙化治理从解放初就开始进行, 多年来, 地方治沙所的工作一直未曾间断。退耕还林还草工程从 1999 年开始实施, 对该区植被恢复起到了极大的促进作用。

参考文献:

[1] 王文龙, 李占斌, 张平仓. 神府东胜煤田开发中诱发的环境灾害问题研究[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 34-38.

[2] 徐友宁, 吴贤, 陈华清. 大柳塔煤矿地面塌陷区的生态地质环境效应分析[J]. 中国矿业, 2008, 17(3): 3-41.

[3] 丁国栋. 区域荒漠化评价中植被的指示性及盖度分级标准研究: 以毛乌素沙区为例[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 159-160.

[4] 牛宝茹, 刘俊荣, 王政伟. 干旱半干旱地区植被盖度遥感信息提取研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30(1): 27-30.

[5] 张克斌, 李瑞, 夏照华, 等. 宁夏盐池植被盖度变化及影响因子[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(6): 18-22.

[6] 王正兴, 刘闯, Huete A. 植被指数研究进展: 从 AVHRR - NDVI 到 MODIS- EVI[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 979-987.

[7] 丁建丽, 塔西甫拉提· 特依拜. 基于 NDVI 的绿洲植被生态景观格局变化研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 23-26.

[8] 陈芳, 魏怀东, 丁峰, 等. 基于 NDVI 的黄土丘陵沟壑区退耕还林还草监测及效果评价: 以定西市安定区为例[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 50-53.

应用前景。应采取研究与试验示范相结合的方法,不断加以完善,积极开发适宜的小型农机具,逐步扩大其推广应用面积,尽快转化为现实生产力。

以上研究结果只是一年的定位试验研究结果,绿豆覆盖栽培还需进行多年多点试验,以求经历不同气候年型。关于覆盖栽培节水、增产的生理生化机制也有待于进一步深入研究。

参考文献:

[1] 朱彦博,程志斌. 薄膜地面覆盖对土壤环境及春小麦生长发育的影响[J]. 甘肃农业科技, 1989(3): 29-31.

[2] 金胜利,周丽敏,李凤民,等. 黄土高原地区玉米双垄全膜覆盖沟播栽培技术土壤水温条件及其产量效应[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 28-33.

[3] Li F, Wang P, Wang J, et al. Effects of irrigation before sowing and plastic film mulching on yield and water uptake of spring wheat in semiarid Loess Plateau of China[J]. Agricultural Water Management, 2004, 67(2): 77-88.

[4] 吕强,熊瑛,陈明灿,等. 不同覆盖方式对烟苗根系生长及耕层生态环境的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 86-90.

[5] 梁美英,卜玉山,李伟,等. 不同地膜与覆盖方式土壤水温与作物增产效应[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 30(5): 426-431.

[6] 曹正梅,董树亭. 覆膜栽培玉米的土壤生态效应研究进展[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 1999, 30(4): 489-492.

[7] 段德玉,刘小京,李伟强,等. 夏玉米地膜覆盖栽培的生态效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 6-9.

[8] 王俊,李凤民,贾宇,等. 半干旱地区播前灌溉和地膜覆盖对春小麦产量形成的影响[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 77-82.

[9] 刘小兰,李世清. 半干旱黄土高原地区春小麦地膜覆盖研究概述[J]. 西北植物学报, 2001, 21(2): 198-206.

[10] 宋秋华,李凤民,王俊,等. 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2125-2132.

[11] 李世清,李凤民,宋秋华,等. 半干旱地区地膜覆盖对作物产量和氮效率的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 205-209.

[12] 李洪勋,吴伯志. 地膜覆盖对玉米生理效应研究[J]. 耕作与栽培, 2003(6): 46-48.

[13] 党廷辉,郭栋,戚龙海. 旱地地膜和秸秆二元覆盖栽培下小麦产量与水分效应[J]. 农业工程学报, 2008; 24(10): 20-24.

[14] 马树庆,王琪,郭建平,等. 东北地区玉米地膜覆盖增温增产效应的地域变化规律[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 66-71.

[15] 曹荣保,武治兴,姜凯喜. 旱地绿豆地膜覆盖栽培技术[J]. 陕西农业科学, 1999(5): 41-42.

[16] 李斌,李变梅,崔峰崑. 旱地地膜覆盖绿豆高产技术[J]. 山西农业, 2004(1): 23.

[17] 孔庆全,赵存虎,贺小勇,等. 绿豆地膜覆盖栽培效益分析[J]. 内蒙古农业科技, 2010(6): 34.

[18] 李世兰,许正辉,阎彦梅. 互助县小麦地膜覆盖与露地栽培经济效益分析[J]. 现代农业科技, 2010(12): 59.

[19] Wang X, Li F, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78(3): 181-194.

(上接第 140 页)

[9] 王宏,李晓兵,龙慧灵,等. 整合 1982-1999 年 NDVI 与降水量时间序列模拟中国北方温带草原植被盖度[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(4): 525-536.

[10] 顾祝军,曾志远. 遥感植被盖度研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 18-21.

[11] 李苗苗,吴炳方,颜长珍. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 153-158.

[12] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226.

[13] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.

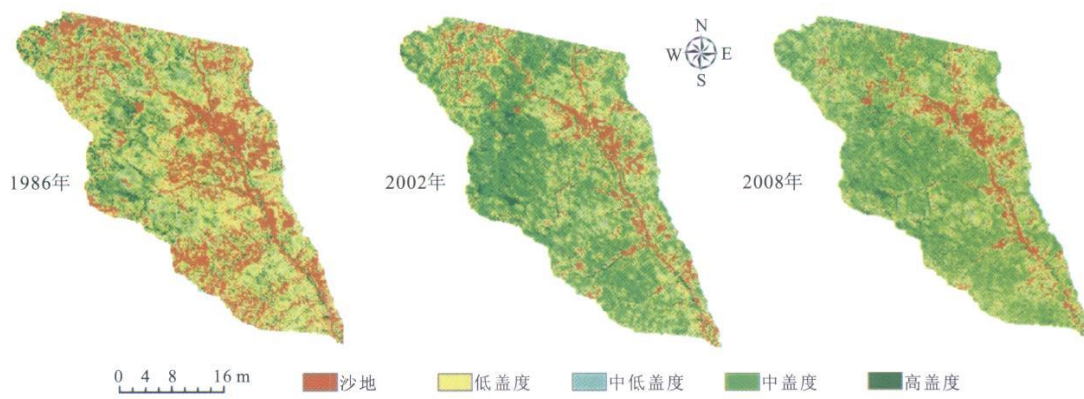
[14] 方精云,朴世龙,贺金生,等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2003, 33(6): 554-579.

[15] 陈渭南. 神府东胜煤田的沙漠化问题[J]. 中国沙漠, 1991, 11(4): 50-59.

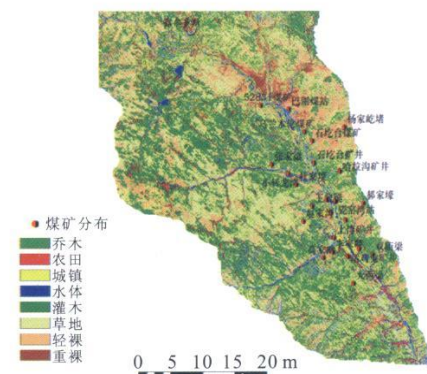
[16] 龚维,李俊,姚源,等. 毛乌素沙地现状、成因及治理对策[J]. 防护林科技, 2009, 18(3): 73-74.

[17] 煤炭网. 神府东胜煤炭公司连续 4 年增产原煤超千万[EB/OL]. [2009]. <http://www.coal.com.cn/Gratis/ArticleDisplay81288.html>.

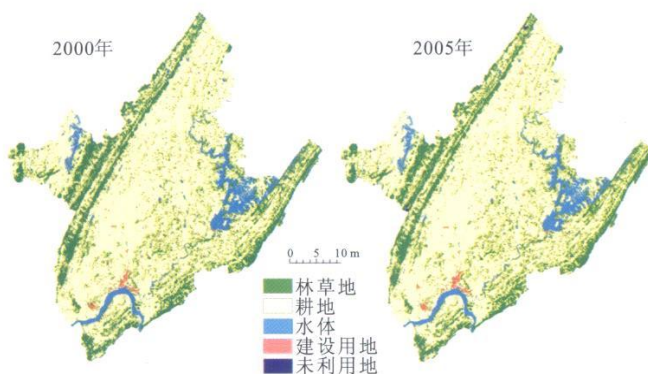
[18] 刘晓辰. 山川秀美新榆林[EB/OL]. [2009]. <http://news.xyl.gov.cn/content/caijin/2007-4/3/20070403104431368.html>.



附图7 不同年限乌兰木伦河流域植被盖度图



附图8 2008年乌兰木伦河流域煤矿分布及土地利用图



附图9 重庆市长寿区不同年份土地利用类型图

