

黄土高原中部降水梯度带植被覆盖度动态变化特征

李杏鲜^{1,2}, 连晋姣^{1,2}, 黄明斌²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 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)

摘要: 黄土高原植被生长的水分环境从东南向西北呈现明显的梯度变化, 定量分析各降水梯度带植被覆盖度空间分布特征和演变趋势, 对正确评价退耕还林草工程的生态效应具有重要意义。选择一条垂直于降水梯度变化的样带, 利用 MODIS/NDVI 数据, 基于像元二分模型获取了研究区 2000—2010 年植被覆盖度空间分布特征, 采用斜率法和相关系数法分析了植被覆盖度的变化趋势和影响因素。结果表明: (1) 研究区植被覆盖度在空间分布上由东南向西北降低, 东南部地区植被覆盖度达 82.6%, 北部荒漠地区仅为 38.6%; (2) 由于退耕还林草工程的实施, 该区 11 a 间植被覆盖度整体呈现上升趋势, 其中 2007 年植被覆盖度值最高, 为 65.3%, 与降水年际变化趋势一致; (3) 研究区植被覆盖度主要受当年 4—8 月降雨量和气温影响, 时间序列具有显著相关性。

关键词: 植被覆盖度; NDVI; 动态变化; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)02-0272-04

中图分类号: Q948.156, TP79

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.056

Dynamical Change of Fractional Vegetation Cover in Central Precipitation Gradient Zone of Loess Plateau

LI Xing-xian^{1,2}, LIAN Jin-jiao^{1,2}, HUANG Ming-bin²

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

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil water condition for vegetative growth in Loess Plateau presents a gradient change from Southeast to Northwest. Quantitative analyses of spatial distribution and temporal change of fractional vegetative cover (F_c) can offer an important indication for evaluating the regional environmental changes after the implementation of returning farming land to forestry and grass land. The MODIS/NDVI images with 250 m×250 m spatial resolution were used as the data source to estimate F_c in the central precipitation gradient zone of Loess Plateau based on a dimidiate pixel method, and the spatial distribution and temporal change of F_c were obtained for the period from 2000 to 2010. The spatial characteristics and temporal trend of F_c were analyzed, while the relationships of F_c with climatic factors were discussed. Results showed that: (1) The F_c in the studied zone presented a decreasing trend from southeast to northwest. The maximum F_c value in southeastern region was 82.6% and the minimum F_c value in northwestern desert was only 38.6%; (2) The average F_c value in the studied zone appeared an increasing trend from 2000 to 2010 due to implementation of the project of returning farming land to forestry or grass land. The maximum average F_c value of 65.3% occurred in 2007 because of the maximum annual precipitation during the studied period; (3) The F_c value in the studied zone was affected by the precipitation and the temperature during the period of April to August in each year, the regression analyses of time series proved a significantly positive correlation between F_c and total precipitation and between F_c and average temperature.

Keywords: fractional vegetation cover; NDVI; dynamic change; the Loess Plateau

黄土高原是一个具有完整生态属性, 边界比较清楚的地形单元, 气候、土壤和植被具有明显的梯度变

化。从东南到西北大约 600 km 的范围内, 气候由半湿润、半干旱逐步过渡到干旱区, 年降水量由 700

收稿日期: 2014-01-24

修回日期: 2014-02-03

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土高原降水梯度带生态水文过程演变与最佳植被盖度研究”(41171186)

作者简介: 李杏鲜(1987—), 女(仫佬族), 广西壮族自治区玉林市人, 硕士研究生, 研究方向为生态水文。E-mail: xingxianli2012@nwsuaf.edu.cn.

通信作者: 黄明斌(1968—), 男(汉族), 湖北省钟祥市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事生态水文和土壤物理研究。E-mail: hmbd@nwsuaf.edu.cn.

mm 逐步减少到 200 mm, 而且黄土高原中部 600, 500, 400, 300 和 200 mm 降水等值线几乎平行, 土壤质地逐步变粗, 依次分布有重壤土、中壤土、轻壤土和沙土, 质地分界明显; 与气候和土壤质地的梯度变化相适应, 植被分布类型也呈现明显的渐变规律, 从东南到西北主要的植被类型有阔叶林、灌丛、草原和荒漠草原 4 种。在 700~200 mm 降水梯度带内, 植物生长的水热条件逐渐变差, 生态系统对气候变化和人类活动的敏感性逐步增强。国内已有学者利用遥感方法研究植被动态。孙睿等^[1]利用 8 km×8 km 分辨率 NOAA/AVHRR NDVI(归一化植被指数)数据分析了 1982—1999 年黄河流域植被覆盖度变化与降水的关系, 发现该时段内降水对森林植被区和农作区的覆盖度影响小, 对草原区植被覆盖度的影响大; 李存珍等^[2]同样利用 NOAA/AVHRR NDVI 数据和一元线性趋势方法, 分析了西北地区植被覆盖度的变化, 发现 1982—2003 年间植被盖度有退化特征; 夏露等^[3]基于 SPOT4 数据以 NDVI 变化率和年均 NDVI 值作为指标, 研究发现 1998—2001 年黄土高原植被覆盖有所减少, 2001 年后植被覆盖面积呈增加趋势。但是 NOAA/AVHRR NDVI 和 SPOT 影像分辨率太小, 在地形起伏变化较大的黄土高原地区较难准确获得植被覆盖度在退耕还林草前后的变化。本研究基于黄土高原中部降水梯度带植被变化对该区生态环境变化的指示作用, 利用 MODIS/NDVI 的像元二分模型对黄土高原中部降水梯度带 2000—2010 年的植被覆盖度进行估算, 并利用绿度变化率和时间序列分析方法确定植被覆盖度的时间变化趋势和影响因素, 分析植被覆盖度(F_c)的空间分布特征、时间演变趋势及其对降水变化和退耕还林草工程的响应, 以期揭示黄土高原生态环境的现状和演变态势以及正确评价生态工程的环境效应提供理论依据。

1 研究区概况

本研究所选择的黄土高原中部降水梯度带东起洛阳, 西至白银, 南靠秦岭, 北抵贺兰山, 涉及陕西、甘肃、宁夏、河南 4 省区, 面积约 2.0×10^5 km², 海拔约 300~1 500 m, 地理坐标介于北纬 $34^{\circ}61' - 39^{\circ}02'$, 东经 $104^{\circ}71' - 112^{\circ}45'$ 之间。年均气温 8~14 °C, 该区年均降水量 200~700 mm, 干燥指数 1.5~6.0。该降水梯度带包含了黄土高原所有植被、土壤和气候类型, 具有典型代表性。为了更直观反映研究区植被覆盖的空间分布特征和变化规律, 利用 350 和 500 mm 降水等值线, 将研究区域分为东南(陕西黄土高原地区)、中部(六盘山区)和西北(宁夏平原区)3 个亚区,

分别代表半湿润区人工乔灌林适生区、半干旱区人工灌乔林适生区和干旱区人工灌林适生区^[4]。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

利用的数据包括: (1) 2000—2010 年 NASA 提供的研究区 MODIS/Terra NDVI 产品(MOD13Q1, <http://wist.echo.nasa.gov>), 时间分辨率为 16 d, 空间分辨率为 250 m×250 m; (2) 2000—2010 年梯度带内所有气象站点的资料, 包括年均降水量、海拔、温度等(<http://cdc.cma.gov.cn>); (3) 黄土高原土地利用图和植被类型图(<http://www.geodata.cn>)。使用 MODIS Reprojection Tool(MRT)软件对 MODIS 数据进行拼接、裁切、投影转换等处理, 投影方式为 Albers 等积投影。

黄土高原地区年 NDVI 变化较大, 利用年内 12 个月 NDVI 平均值作为年 NDVI 值会存在较大误差。使用最大值合成法(MVC)提取每旬的最大 NDVI 值, 可消除云、大气、太阳高度角等方面的部分干扰^[5]。利用 MVC 方法将全年 23 期 NDVI 数据进行合成, 获取质量可靠的 NDVI 数据集^[6]。利用 GIS 并结合各气象站点的经纬度信息对降雨数据进行 Kriging 插值, 获取象元大小与 NDVI 数据一致、投影面积相同的气象要素栅格图。使用 SPSS 软件分析植被覆盖度与气象数据的相关性。

2.2 植被覆盖度分析

2.2.1 植被覆盖度估算 利用基于 NDVI 的像元二分模型估算植被覆盖度。像元二分模型假设遥感传感器观测到的一个像元信息 S 是由植被 S_v 和裸地 S_s 两部分组成, 则有:

$$S = S_v + S_s \quad (1)$$

有植被覆盖的面积比例为 F_c , 即该像元的植被覆盖度, 裸地的面积比例则为 $1 - F_c$ 。则混合像元各部分信息可由公式(2)—(3)计算:

$$S_v = F_c \times S_{veg} \quad (2)$$

$$S_s = (1 - F_c) \times S_{soil} \quad (3)$$

式中: S_{veg} ——全由植被覆盖的像元信息; S_{soil} ——全部为裸地的像元信息。将公式(2)—(3)代入公式(1)后可得植被覆盖度的计算公式:

$$F_c = (S - S_{soil}) / (S_{veg} - S_{soil}) \quad (4)$$

根据像元二分模型原理, 一个像元的 NDVI 值也可以分为植被覆盖和裸地两部分。因此, 计算植被覆盖度的公式也可表示为^[7]:

$$F_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (5)$$

式中, $NDVI_{soil}$ ——裸地像元的 NDVI 值; $NDVI_{veg}$ ——完全被植被所覆盖像元的值。

当获取研究区、土地利用和土壤等基本信息后,计算图像中每个像元集合的 NDVI 累积频率曲线,分别将累积频率为 0.5% 和 95% 的 NDVI 值作为 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$,再利用公式(5)分别计算各像元的植被覆盖度。

2.2.2 植被覆盖度动态变化 采用绿度变化率(GRC)^[8-15] 采表征研究区植被变化的时间趋势(2000—2010 年)。GRC 采用公式(6)计算:

$$GRC = \frac{(n \sum_{j=1}^n j \cdot y) - (\sum_{j=1}^n j)(\sum_{j=1}^n y)}{[n \sum_{j=1}^n j^2 - (\sum_{j=1}^n j)^2]} \quad (6)$$

式中: n ——监测年数; y ——第 j 年的植被覆盖度。GRC 的大小和正负号可反映研究区 2000—2010 年植被覆盖度的变化趋势及变化幅度。斜率为正,表明植被覆盖度增加,反之则减少;斜率绝对值越大,植被覆盖度变化的幅度越大,反之则小。

3 结果分析

3.1 研究区 2000—2010 年平均植被覆盖度的空间格局

附图 11 为研究区 2000—2010 年平均植被覆盖度空间分布状况。由附图 11 可以看出,研究区多年平均植被覆盖度变化范围为 32.6%~65.3%,平均值是 60.8%。平均植被覆盖度在空间分布上呈现东南部高西北部低的总趋势,究其原因主要是水热条件从东南部向西北逐渐减少所致。3 个亚区 11 a 的平均植被覆盖度分别为:东南部地区 82.6%,中部地区 71.8%,西北部地区最低,仅 38.6%。这种空间分布格局与水热条件的变化趋势一致。表 1 为 3 个亚区和全区 2000—2010 年平均植被覆盖度。由表 1 可以看出,研究区 2000—2010 年植被覆盖度总体呈现波动上升趋势。2000—2003 年研究区植被覆盖度迅速增长,增幅为 5.6%;2004—2006 年研究区植被覆盖度稳定在 60% 左右;2007—2010 年研究区植被覆盖度变化有所起伏,平均为 63.6%。对 2000 年和 2010 年植被覆盖度的空间差异进行了比较分析(附图 12)。由附图 12 可得,植被覆盖度高的区域(深蓝)面积明显增加,植被覆盖度低的区域(红色)面积明显减少。研究区年均植被覆盖度由 2000 年的 54.8% 增加至 2010 年的 63.0%。

3.2 黄土高原中部降水梯度带植被覆盖度动态分析

为分析研究区植被覆盖度的动态变化情况,先利用 2000—2010 年 MODIS 影像估算年植被覆盖度,然后由公式(6)计算 GRC 值,得出植被覆盖度的变化趋势,斜率值为正,表示植被覆盖度增加;斜率值为

负,表植被覆盖度降低。由分析结果可知,GRC 增加的区域主要分布在黄土沟壑区塬面和六盘山地区;降低的区域主要集中在西安、洛阳和银川市等大中型城市;没有变化的区域主要是区内农耕地和林地。同时发现,植被覆盖度小于 50% 的地域面积在不断的减少。其中,植被覆盖度为 10% 区域减少了 34.3 km²,主要分布在宁夏地区黄河北部临近乌兰布和沙漠地带;植被覆盖度为 20%~40% 区域减少了 2.1×10⁴ km²,主要集中在宁夏平原以南中温带半荒漠地区;植被覆盖度为 40%~50% 的面积减少 8 000 km²,主要分布在宁夏地区南部。主要原因是退耕还林草工程导致林草植被面积增加。同时植被覆盖度大于 50% 的面积在增加,其中植被覆盖度为 60%~80% 区域约增加 1.0×10⁴ km²,主要集中在陕西省黄土沟壑区塬面地区;植被覆盖度为 90%~100% 区域面积增加 1.0×10⁴ km²,主要位于六盘山自然保护区。而个别地方植被也呈现出植被覆盖度下降的现象,下降区域主要集中在大中型城市,主要原因是城镇化的快速发展。例如,西安市 1997 年设立临潼区,2002 年设立长安区,至 2014 年成立西咸新区,城市建设导致其植被覆盖度大幅度降低。

表 1 黄土高原中部降水梯度带在 2000—2010 年平均植被覆盖度

年份	植被覆盖度/%			
	全区平均	西北部地区	中部地区	东南部地区
2000	32.6	63.8	79.6	54.8
2001	35.6	65.0	75.3	55.4
2002	41.6	69.9	78.8	60.4
2003	40.9	70.6	83.0	61.3
2004	39.4	72.4	83.3	61.5
2005	34.7	73.7	84.2	60.3
2006	37.4	73.6	84.0	61.3
2007	43.2	74.8	89.0	65.3
2008	37.0	73.5	82.5	60.7
2009	41.7	78.0	86.6	65.2
2010	40.9	75.0	82.9	63.0

3.3 植被覆盖度变化原因分析

表 1 可看出,3 个区域和全区的平均植被覆盖度都是在 2007 年达到最大值,随后有所下降。促使植被覆盖度变化的主要因素有气候波动和人类活动的影响。黄土高原地区属温带季风性气候,降水和蒸发是影响植被覆盖的主要气候因子。考虑该区气候变化的特点,本研究选择植被生长季 4—8 月的降水量、气温,分析气候因子对植被覆盖度的影响。通过对

4—8 月降雨量、平均气温与当年植被覆盖度进行 Pearson 相关分析(表 2),发现研究区植被覆盖度与 4—8 月降雨量、平均气温都呈现出有很好的正相关关系,但与总降水量的平均相关系数大于和同期平均温度的相关系数。降水量、平均温度与植被覆盖度的相关系数在不同年份呈现不同的变化趋势,后 6 a 的相关系数明显大于前 5 a,分析其原因应该与 1999 年

后实施的退耕还林草工程有关。2006 年以前,是研究区退耕还林草工程的起步阶段,由于人类活动的干预降低了水热条件对植被覆盖度的决定作用,表现为降水与植被覆盖度之间的相关系数低,且年际间的差异大。2006 年后,随退耕面积的增大,退耕还林草工程进入相对稳定阶段,人类活动的干预降低,水热条件对植被覆盖度的影响提高,相互间的相关系数变大。

表 2 黄土高原降水梯度带 2000—2010 年植被覆盖度与当年 4—8 月降水量、平均气温的相关系数

项目	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	均值
与降水量相关系数	0.63	0.77	0.43	0.97	0.75	0.77	0.90	0.87	0.93	0.94	0.91	0.81
与平均温度相关系数	0.40	0.65	0.75	0.55	0.52	0.43	0.86	0.75	0.72	0.75	0.86	0.66

4 结论

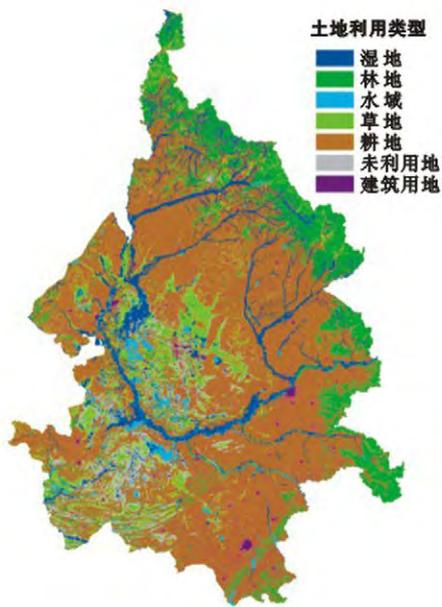
(1) 植被覆盖度在空间上呈现从东南向西北逐渐降低的趋势。东南部地区植被覆盖度可达 82.6%,中部地区达 71.8%,西北部接近荒漠地区植被覆盖度偏低,仅为 38.6%。

(2) 植被覆盖度在时间上存在整体上升的趋势,2000 年植被覆盖度为 54.8%,2003 年上升至 61.3%,2007 年达到最大值 65.3%。

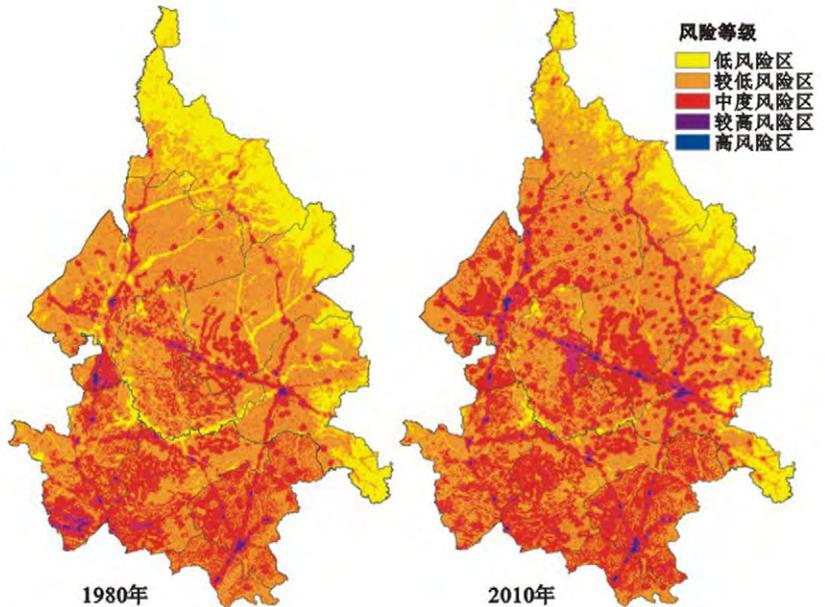
(3) 退耕还林草工程和气候因子是研究区植被覆盖度变化的主要原因,在气候因子中,4—8 月总降水量与植被覆盖度的正相关系数大于与同期平均气温的相关系数。2006 年前退耕还林草工程的实施对该区植被覆盖度的提高具有显著贡献,2007 年后水热条件对研究区植被覆盖度的影响作用增强。

[参 考 文 献]

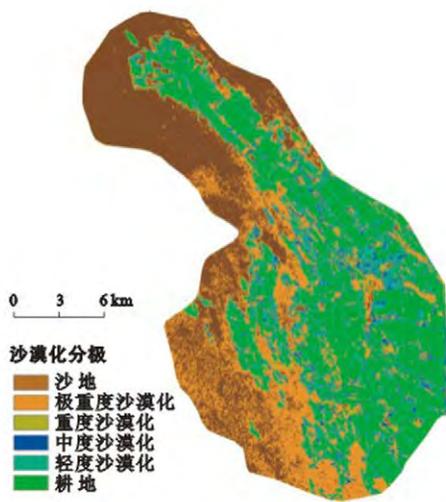
- [1] 孙睿,刘昌明,朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系[J]. 地理学报, 2001,56(6): 667-672.
- [2] 李存珍,马明国,张峰,等. 1982—2003 年中国西北地区植被动态变化格局分析[J]. 遥感技术与应用, 2006,21(4): 332-337.
- [3] 夏露,刘咏梅,柯长青. 基于 SPOT4 数据的黄土高原植被动态变化研究[J]. 遥感技术与应用, 2008,23(1): 67-71.
- [4] 杨文治,马玉玺,韩仕峰,等. 黄土高原地区造林土壤水分生态分区研究[J]. 水土保持通报, 1994,8(1): 1-9.
- [5] 朴世龙,方精云. 最近 18 年中国植被覆盖的动态变化[J]. 第四纪研究, 2001,21(4): 294-302.
- [6] 李海亮. 基于 MODIS 数据的石羊河流域植被覆盖时空变化研究[D]. 甘肃 兰州:西北师范大学, 2009.
- [7] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社, 2003:1387-398.
- [8] Stow D A, Hope A, Mc Guire D. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra ecosystems[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(3): 281-308.
- [9] 陈云浩,李晓兵,史培军,等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植物生态学报, 2001,25(5): 588-593.
- [10] 陈涛,李平湘,张良培. 武汉地区 1988—2002 年植被覆盖度变化动态分析[J]. 遥感技术与应用, 2008,5(23): 511-516.
- [11] 何彬方,冯妍,吴文玉,等. 安徽省十年植被指数时空变化特征[J]. 生态学杂志, 2010,29(10): 1912-1918.
- [12] 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, 2003.
- [13] 吴云,曾源,赵炎,等. 基于 MODIS 数据的海河流域植被覆盖度估算及动态变化分析[J]. 资源科学, 2010,32(7): 1417-1423.
- [14] 宋富强,邢开雄,刘阳,等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被覆盖动态监测与评价[J]. 生态学报, 2011,31(2): 354-363.
- [15] 苗正红,刘志明,王宗明,等. 基于 MODIS NDVI 的吉林省植被覆盖度动态遥感监测[J]. 遥感技术与应用, 2010,25(3): 387-393.



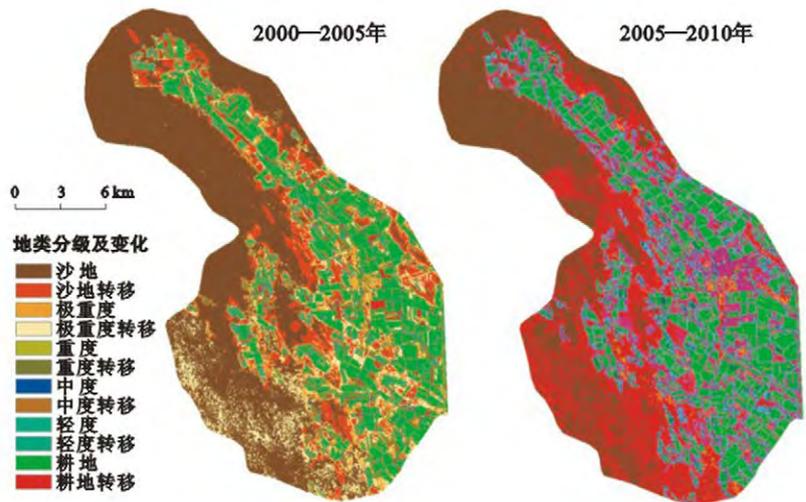
附图7 松嫩平原2010年土地利用状况



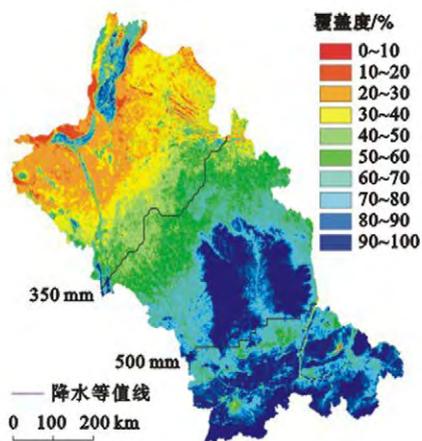
附图8 松嫩平原1980和2010年土地利用生态安全风险等级分布格局



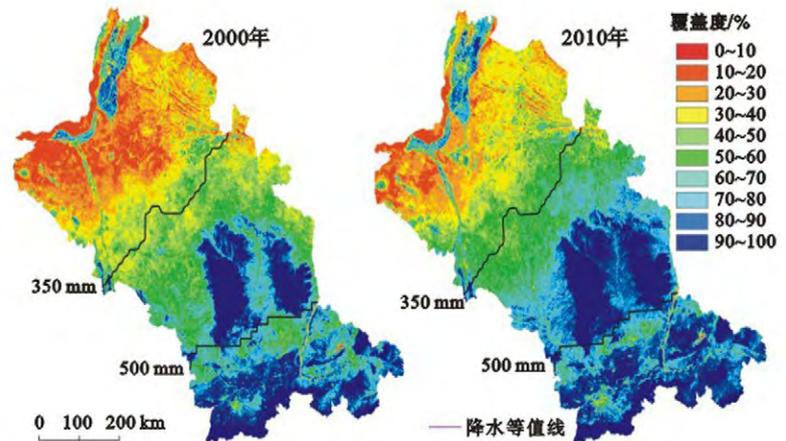
附图9 新疆石河子150团沙漠化分级



附图10 新疆石河子150团2000—2010年沙漠化发展变化



附图11 黄土高原中部2000和2010年降水梯度带平均植被覆盖度



附图12 黄土高原中部2000和2010年降水梯度带植被覆盖度对比