

黄土山丘区植被覆盖变化分析

李彤, 师学义

(中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083)

摘要:利用像元二分模型获取研究区植被覆盖度,并对其进行分级。针对不同等级植被覆盖度建立转移矩阵,研究其数量随时间的变化特征,并利用全局及局部莫兰指数对植被覆盖度的空间集聚状况进行分析,以期为该区植被恢复与保护工作提供依据。结果表明:(1)研究区平均植被覆盖度空间分布整体为中部低两侧高,北部高于南部,整体植被覆盖类型以低覆盖和中低覆盖为主;(2)1991—2010年,研究区裸地、高覆盖类型和中覆盖类型整体占比增加,中覆盖类型涨幅最大;低覆盖类型和中低覆盖类型整体占比减少,低覆盖类型减幅最大;(3)研究区植被覆盖度在1991—2000年退化趋势明显,2000—2010年植被状况转好,退化趋势得到遏制;(4)植被覆盖度的空间聚集情况随着时间的变化逐渐增强,且主要以高值簇和低值簇的形式分布,高值簇和低值簇的空间聚集区域随着时间的变化发生转移;(5)研究区应进一步加强对低植被覆盖区域的恢复力度。

关键词:植被覆盖度;时空变化;转移矩阵;空间自相关分析;黄土山丘区

中图分类号:S758

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0143-06

Analysis of Change in Vegetation Cover in Loess Hilly Region

LI Tong, SHI Xueyi

(College of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to research the quantitative characteristics of mutual transformation, the study of vegetation coverage was based on two pixel models, and the transfer matrix was built based on the different levels of vegetation coverage. The entire and local Moran indices were used to analyze vegetation coverage spatial agglomeration situation in order to provide the bases for the destination of the work for vegetation recovery and protection. The results were as the followings. (1) The average vegetation coverage for the overall spatial distribution was high on the both sides, low in the middle, it was higher in the northern part than that in the southern part, and the types with low coverage and middle-low vegetation coverage were dominant in the whole vegetation cover. (2) In all of the study area, from 1991 to 2010, the proportions of bare land type, the high coverage type and middle cover type to the overall vegetation cover increased, increase of in middle coverage type was the largest; proportions of low coverage type and middle-low coverage type overall reduced, reduction of low coverage type was the largest. (3) The study area of vegetation coverage degraded in 1991—2000, improved in 2000—2010, the degradation trend had been checked. (4) The spatial aggregation of vegetation coverage increased over time, and distributed as the high value cluster and low value cluster. High value cluster and low value cluster agglomeration region shifted over time. (5) The efforts for the recovery of low vegetation coverage type should be strengthened in the whole study area.

Keywords: vegetation coverage; temporal and spatial variation; transition matrix; spatial autocorrelation analysis; Loess Hilly Region;

植被是陆地生态系统的重要组成部分,连接着大气、水和土壤,是生态系统的调节器和指示器^[1]。植被覆盖度是指单位面积内植被地上部分在地面的垂

直投影面积所占的百分比。植被覆盖度信息的获取主要有地面测量和遥感估算两种方法,地面测量方法只适用于小尺度范围,很难在较大空间尺度上连续进

行^[2]。目前,遥感数据的广泛应用使得大区域甚至全球尺度连续监测植被覆盖度成为可能,对不同区域、不同时空尺度的植被覆盖情况的研究,均采用长序列遥感数据,如将提取的 NDVI 数据与同期的气温、降水等数据相结合,研究植被覆盖情况与气候因子的相关性^[3-5];将植被归一化指数与不同分区、土地利用类型、高程海拔等相结合,研究植被分布的空间规律及人类活动对植被的干扰^[6-10];也有学者对植被归一化指数长时间序列进行反演,研究植被生长的周期规律并对未来植被变化情况进行预测^[11]。以上研究主要从区域大尺度多运用斜率回归方法研究植被相关指数的时序变化研究,但对小尺度植被的趋势变化、空间格局动态变化研究较少,本文利用 ArcGIS 软件,对黄土山丘区的不同植被覆盖度等级建立转移矩阵,对研究区不同等级间植被覆盖度的转化进行分析,此方法对区域植被变化趋势及退化状况的分析更加清晰详细,并对植被覆盖度空间自相关性进行研究,分析植被覆盖的空间分布自相关性特征,以期为区域生态环境整治提供参考。

1 试验材料与方法

研究区位于山西省晋城市西北部,距离晋城市区约 20 km,属于晋城市近郊县地带。其地理位置位于北纬 35°30′10″—35°39′06″,东经 112°37′40″—112°46′04″,土地总面积 113.185 km²。境内地貌类型为山地和丘陵,面积比例分别为 46.25% 和 53.75%,属于典型的黄土高原山丘区。长河两侧地势高中间低,东北高西南低,地形总体上呈“簸箕”状特点,境内平均海拔 884 m;该区属于温带大陆性季风气候区,年平均降雨量 628.3 mm,年平均气温 10.9℃。该区下辖下村镇、大东沟镇和川底乡 3 个乡镇、47 个行政村,共有人口 52 868 人,其中农业人口 52 612 人。

1.1 数据来源和预处理

研究区整体面积约为 113 km²,区域空间尺度较小,选用时间间隔为 10 a 的数据,以便更加清楚地展现植被变化情况。研究选用的遥感影像为 TM 数字产品,空间分辨率为 30 m×30 m,成像时间分别为 1991 年 9 月 19 日、2000 年 8 月 27 日和 2010 年 9 月 23 日。数据为经过系统辐射校正、大气校正和几何校正,并利用 ENVI 软件对遥感图像进行波段合成、植被指数的提取及植被覆盖度的计算。根据植被覆盖度计算结果,将分布在 0%~10% 之间的植被覆盖度划分为裸地、10%~30% 之间的为低覆盖、30%~45% 之间的为中低覆盖、45%~60% 之间的为中覆盖、60% 及以上的为高覆盖。

1.2 研究方法

1.2.1 基于像元二分模型的植被覆盖度估算 像元二分模型假设每个像元的光谱信息均是由纯植被和纯土壤两种组分以面积比例加权而成的线性组合^[12-14],即:

$$VFC = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{veg} - NDVI_{soil})} \quad (1)$$

式中:VFC 为植被覆盖度;NDVI_{soil} 为裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值;NDVI_{veg} 则代表纯植被像元的 NDVI 值。

项目区内可近似取 NDVI_{veg} = NDVI_{max}, NDVI_{soil} = NDVI_{min},则公式(1)可变为:

$$VFC = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \quad (2)$$

NDVI_{max} 和 NDVI_{min} 分别为区域内最大和最小的 NDVI 值。根据项目区图像,将 NDVI_{max} 和 NDVI_{min} 置信度分别为 5% 和 95% 范围内的最大值和最小值。

1.2.2 基于莫兰指数的空间自相关分析 空间自相关是指空间中某空间单元与其周围单元间就某种特征值在空间上的相关性^[15-18]。自相关分析可分为全局性相关分析和局部相关分析,其中全局性相关分析可表明区域整体是否有集聚现象,但无法确定聚类地区,一般采用统计量全局莫兰指数(Global Moran's *I*)表示。局部自相关分析可表明区域单元的空间集聚程度,一般用统计量局部莫兰指数(Local Moran's *I*)表示。研究区的植被覆盖度的空间分布的地理特征即可通过这两类指标进行衡量。

$$\text{Global Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

式中: n 为区域单元个数; x_i 和 x_j 为区域 i 和 j 的观测值; s^2 为样本的方差; w_{ij} 为空间权重矩阵,设定两个区域单元之间有共边的为相邻,空间权重矩阵为 1;否则,为不相邻,空间权重矩阵为 0;全局莫兰指数值介于 -1~1 之间,大于 0 为正相关,小于 0 为负相关,绝对值越大表明空间自相关性越强,空间聚集越明显;相反,则空间自相关性越弱,空间分布越随机。其中正向相关表明区域单元的高值或低值呈现集聚分布,形成高值簇或低值簇;负相关表明高值簇或低值簇被相邻的异常值包围。对 Moran's *I* 的结果进行统计检验,可以采用 Z 检验:

$$z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (4)$$

$$\text{Anselin Local Moran's } I_i = \frac{(x_i - \bar{X})}{S_i^2 \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{X})} \quad (5)$$

式中: n 为区域单元个数; x_i 为区域 i 的观测值; S_i^2 为样本的方差; w_{ij} 为空间权重矩阵,对该值的结果检验同样用 Z 值进行检验,所得出的结果分为四类分别为:高值簇聚类、低值簇聚类、低值簇中的高值聚类和低值簇中的低值聚类。

2 结果与分析

2.1 1991—2010年平均植被覆盖度的分布特征

运用 ENVI 软件对研究区 TM 影像提取 NDVI 指数,并应用像元二分模型计算植被覆盖度,采用 ArcGIS 软件计算研究区的平均植被覆盖度,并对其 5 级覆盖度类型进行提取分析,详见图 1。研究区植被覆盖度整体变化趋势为中间低两边高,北部高于南部。研究区植被覆盖类型以低覆盖和中低覆盖类型为主,高覆盖类型占比最低。其中,低覆盖类型占比最大为 38.65%,主要分布在研究区的东南部;其次是中低覆盖类型占比为 31.50%,在研究区各方位均有分布,北部分布比例相对偏高;中覆盖类型占比为 18.92%,主要分布在研究区的西北部;裸地所占比例为 9.27%,最少的为高覆盖类型仅占全区的 1.66%。

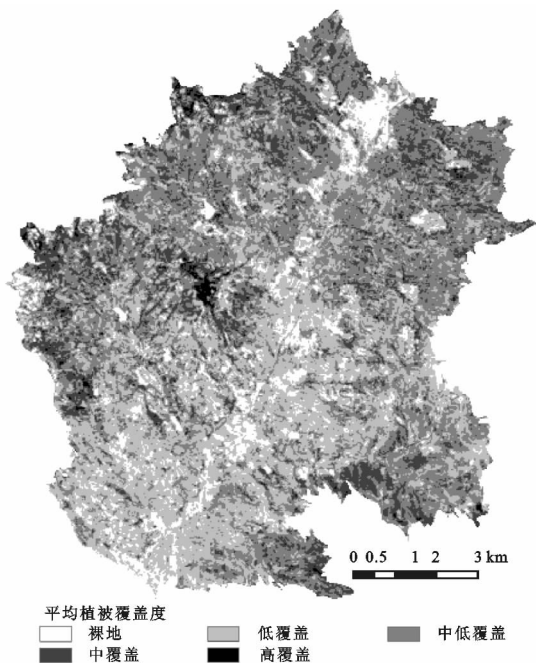


图1 研究区平均植被覆盖度分布

2.2 植被覆盖度的时间变化特征

运用 ENVI 软件对研究区 TM 影像提取 NDVI 指数,并应用像元二分模型计算植被覆盖度,采用 ArcGIS 软件生成植被覆盖度分级图,详见图 2。由 1991 年、2000 年和 2010 年的植被覆盖度空间分布图及植被覆盖度面积统计表(表 1)来看,研究区植被覆盖度分级情况随着时间的变化情况为:1991 年、2000 年和 2010 年植被覆盖度级别主要均以为低覆盖度和

中低植被覆盖度为主,但各年份中不同植被覆盖度的结构组成又有所改变。

(1) 研究区裸地的占比 1991—2000 年整体增加了 3.06%,2000—2010 年又继续增加了 1.88%,在 2000 年和 2010 年中,裸地的占地比例几乎与区域中低覆盖类型的占地比例持平,增长速度较快。裸地增加的区域主要分布在研究区西北—东南的整个轴线地带以及研究区的西部地区;

(2) 低覆盖类型在三个年份中均为各植被覆盖度类型中占比最高的覆盖类型,但是随着时间的推移,低覆盖类型呈现先增加后减少的变化趋势,1991—2000 年低覆盖类型仅增加了 3.6%,增加的区域主要集中在研究区的西部和南部,到 2010 年低覆盖度类型却骤减了 20.44%,减少的面积主要分布在研究区的西部;

(3) 中低覆盖度类型则呈现出先减少后增加的变化趋势,且减少幅度为 5.15%,增加幅度仅为 3.36%,总体上仍为减少,空间上主要为 1991—2000 年西部地区中低盖度类型减少,2000—2010 年西部和东北部有所增加;

(4) 中覆盖度类型的变化趋势主要是先减少后增加,但是增加的幅度远大于减少幅度,总体上为增加的态势,1991—2000 年中覆盖类型减少了 1.76%,减少区域主要分布在西部和西南部,但是至 2010 年间却骤增了 8.65%,总体增幅为 6.89%,增加区域主要在西部和西北部;

(5) 高覆盖类型在三个年份中占比始终最低,通过分析可知,该类型始终呈现增加的趋势,且增幅为 5 类中最大,先从 1991—2010 年增幅为 0.15%,至 2010 年的增幅为 6.44%,总增幅达到 6.59%。在空间布局上,高覆盖类型集中的区域不断在变化,1991 年高覆盖类型分布较为分散,2000 年主要集中在研究区的东北部,2010 年则主要分布在研究区的西部。

综上所述,在面积比例变化上,研究区裸地和高覆盖类型呈现持续增加态势,且增加幅度分别为 4.94%和 6.59%;低覆盖呈现先增加后减少的变化趋势,但减幅大于增幅,总体减少了 16.84%;中低覆盖和中覆盖两种类型均呈现先减少后增加的变化趋势,但中低覆盖类型的减幅大于增幅,整体减少了 1.68%,中覆盖类型的减幅小于增幅,总体增加了 6.89%。

2.3 不同植被覆盖分级动态变化

本文利用 ArcGIS 软件对不同年份的植被覆盖度分别建立转移矩阵,获取 1991—2000 年、2000—2010 年全区植被覆盖度分级转移情况,详见表 2—3。1991—2000

年裸地整体增加了 3.06%，其中未变化的裸地占比为 22.00%，低覆盖转化面积最大，占比为 23.29%，其次是中覆盖和中低覆盖分别为 20.01%和 19.50%；低覆盖类型整体上增加了 3.6%，其中转化面积较大的是中低覆盖和中覆盖，占比分别为 25.37%和 21.82%，未变化的面积占比为 28.51%，说明整体生态环境有所退化；中低覆盖类型整体上减少了 5.15%，转化类型中面积占比最高的是低覆盖，占比为 37.60%，其次是中覆盖类型

为 16.41%，未变化面积占比为 29.83%；中覆盖类型整体上减少了 1.76%，中覆盖度类型主要由中低覆盖类型和低覆盖类型转化而来，占比分别为 40.02%和 38.66%，未变化的仅占 11.98%，虽然整体面积在减少，但是从转化类型上看，整体生态环境在进化；高覆盖类型整体上增加了 0.15%，而自身未变化的仅占 1.83%，转化类型主要包括中低覆盖、低覆盖和中覆盖，占比分别为 42.92%，35.23%和 11.92%。

表 1 1991 年、2000 年和 2010 年植被覆盖度分级统计

年份	裸地		低覆盖		中低覆盖		中覆盖		高覆盖	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
1991	18.41	16.27	48.66	43.00	28.68	25.35	14.00	12.37	3.41	3.01
2000	21.87	19.33	52.73	46.60	22.87	20.21	12.01	10.61	3.68	3.25
2010	24.00	21.21	29.6	26.16	26.79	23.67	21.8	19.26	10.97	9.69

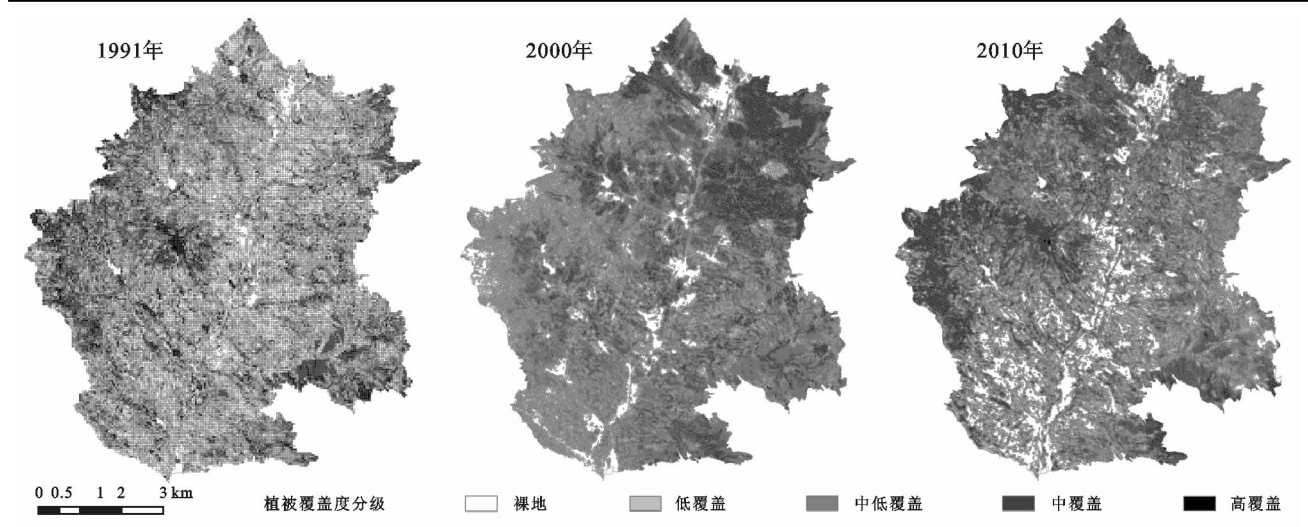


图 2 1991 年、2000 年和 2010 年植被覆盖度分级空间分布

表 2 1991—2000 年植被覆盖度等级转移矩阵

覆盖程度		2000 年									
		裸地		低覆盖		中低覆盖		中覆盖		高覆盖	
		面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
1991 年	裸地	4.27	22.00	6.31	12.60	3.00	10.17	1.01	6.75	0.28	8.10
	低覆盖	4.52	23.29	14.27	28.51	11.08	37.60	5.76	38.66	1.24	35.23
	中低覆盖	3.78	19.50	12.70	25.37	8.79	29.83	5.96	40.02	1.51	42.92
	中覆盖	3.88	20.01	10.92	21.82	4.84	16.41	1.78	11.98	0.42	11.92
	高覆盖	2.95	15.20	5.86	11.70	1.76	5.98	0.39	2.59	0.06	1.83

表 3 2000—2010 年植被覆盖度等级转移矩阵

覆盖度		2010 年									
		裸地		低覆盖		中低覆盖		中覆盖		高覆盖	
		面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
2000 年	裸地	8.10	56.71	7.08	19.98	4.73	15.02	2.90	13.82	1.08	10.16
	低覆盖	3.75	26.26	9.54	26.90	7.58	24.10	5.71	27.21	2.81	26.55
	中低覆盖	1.43	9.99	7.77	21.90	8.05	25.57	5.91	28.16	3.48	32.88
	中覆盖	0.66	4.63	6.01	16.96	7.47	23.73	4.87	23.20	2.72	25.65
	高覆盖	0.34	2.41	5.06	14.26	3.65	11.58	1.60	7.61	0.50	4.77

在 2000—2010 年,裸地面积比例增加了 1.88%,其中未变化的裸地面积占比为 56.71%,低覆盖转化占比为 26.26%,其余三种类型转化的面积占比均不足 10%,说明裸地的增加受到了很大的控制;低覆盖类型整体上减少了 20.44%,未变化面积占比同样最高为 26.90%,其次是中低覆盖类型和裸地转化较高,占比分别为 21.90%和 19.98%,中覆盖类型和高覆盖类型虽有一定转化,但是可以看出植被退化的趋势已经得到遏制;中低覆盖类型整体上增加了 3.36%,转化类型占比较高的分别为低覆盖类型和中覆盖类型,占比分别为 24.10%和 23.73%,未变化类型面积占比依然最高为 25.57%;中覆盖类型整体上增加了 8.65%,其中转化面积占比最高的为中低覆盖类型 28.16%,其次为低覆盖类型和裸地,分别为 27.21%和 13.82%,整体上可看出全区植被进化的趋势;高覆盖类型整体上增加了 6.44%,转化类型中面积占比从高到低依次为中低覆盖、低覆盖、中覆盖和裸地,说明全区植被状况在逐渐好转。

综上所述,1991—2000 年,裸地和低覆盖类型面积增加,主要由其他有较高植被覆盖区域的植被退化而成,中覆盖类型和高覆盖类型中由其他较低植被覆盖区域转化的趋势明显,但是转化面积较小,整体植被呈现退化趋势;2000—2010 年,裸地、低覆盖类型和中低覆盖类型面积保持原状的趋势明显,中覆盖类型和高覆盖类型主要由较低植被覆盖区域进化而来,整体植被退化趋势得到遏制,进化趋势明显。

2.4 植被覆盖度的空间自相关分析

2.4.1 全局空间自相关分析 本文运用 ArcGIS 软件对研究区 1991 年、2000 年、2010 年三年的植被覆

盖度计算全区莫兰指数,详见表 4。从全局来看,研究区莫兰指数全部为正,但在不同年份呈现出一定的波动性。研究区 1991 年的全局莫兰指数最低,说明其破碎化程度较大,2000 年和 2010 年的全局莫兰指数在增大,植被覆盖度在空间上的相关性在增强,其在空间上的集聚效应也在增强。

2.4.2 局部空间自相关分析 局部 Moran's *I* 的空间分布情况见图 3,运用 ArcGIS 软件处理的计算结果表明,全阶段植被覆盖度表现出较强的高—高聚类 and 低—低聚类,空间异常值(低值簇中的高值和高值簇中的低值)均表现不明显。1991 年植被覆盖度的高值聚类主要分布在研究区的西北部 and 东南部,东北—西南轴线区域主要分布为低值聚类;2000 年,植被覆盖度的高值聚类主要集中在研究区的东北部区域,低值聚类区域则比 1991 年多出了西南部分;2010 年,植被覆盖度的高值聚类主要集中在研究区的西北及西部区域,低值聚类区域则比 1991 年多增加了全区的南部区域。

表 4 1991、2000、2010 年植被覆盖度的莫兰指数

年份	植被覆盖度	全局莫兰指数
1991	0.2773	0.4500
2000	0.3505	0.7139
2010	0.3490	0.7301

由上述分析可知,1991—2000 年,高值簇的空间分布由研究区的西部转为东北部,且 1991 年西部的高值簇在 2000 年转变为低值簇,至 2010 年植被高值簇又重新分布在西部地区,同时东北部的高值簇面积急剧下降,大部分转变为低值簇和无明显聚类,南部的低值簇面积有所增加。

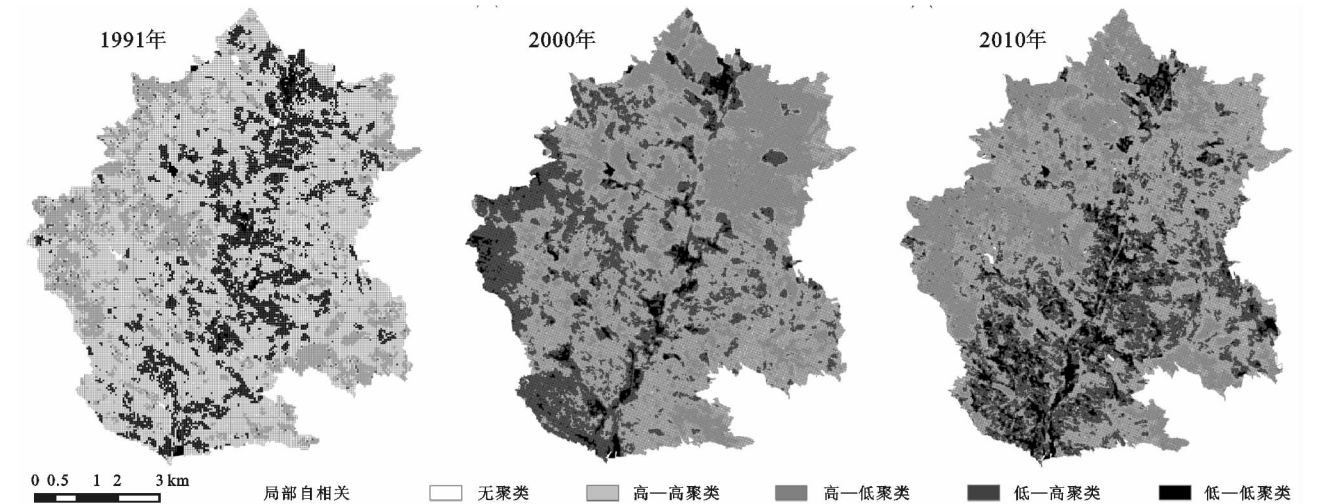


图 3 1991 年、2000 年、2010 年植被覆盖度聚类分析

3 结论

文章对植被覆盖度建立转移矩阵,详细分析各植

被覆盖等级的转化情况,以得出植被的退化情况,并结合全局和局部莫兰指数对全区植被覆盖度进行自相关分析,进一步阐述了植被覆盖度的空间聚集变化

情况,文章所得结果及不足之处如下:

(1) 研究区植被覆盖度空间分布整体为中间低两边高,北部高于南部。全区植被覆盖类型以低覆盖和中低覆盖类型为主,高覆盖类型占比最低。

(2) 通过对研究区平均植被覆盖度的分析可知,不同植被覆盖度等级中,面积占比总体增加的有裸地、高覆盖类型和中覆盖类型,面积占比总体减少的有低覆盖类型和中低覆盖类型,其中增加量最大的为中覆盖类型,增加了 6.89%,减少量最大的为低覆盖类型,减少了 16.84%。

(3) 1991—2000 年,裸地和低覆盖类型面积增加迅速,主要由其他有较高植被覆盖区域的植被退化而成,中覆盖类型和高覆盖类型面积增加很少,主要由其他较低植被覆盖区域转化形成,整体植被呈现退化趋势;2000—2010 年,裸地、低覆盖类型和中低覆盖类型面积基本保持不变,中覆盖类型和高覆盖类型面积有所增加,主要由较低植被覆盖区域进化而来,全区整体植被退化趋势得到遏制。研究区高植被覆盖区面积增加的同时,裸地和低覆盖类型区面积也不断增加,说明对植被的保护比较片面,对低植被覆盖区恢复力度不足,不够重视,对高植被覆盖区域的保护取得一定成果。

(4) 由研究区全局莫兰指数的变化可知,全区植被覆盖度的空间聚集情况随着时间的变化而逐渐增强;由局部莫兰指数的变化分析得出,研究区植被覆盖度的高值簇和低值簇的区域分布随着时间发生转移。

(5) 文章的不足在于只针对研究区植被覆盖度进行了时间、空间的数量变化和聚集变化特征分析,未结合研究区的气候、降雨、土壤、地形地貌、人类活动等对植被覆盖变化的驱动因素进行分析,下一步研究将结合当地植被生长的立地条件及生长习性等,针对不同地区提出植被修复及保护建议。

参考文献:

- [1] 何立恒,周寅康,杨强. 延安市 2000—2013 年植被覆盖时空变化及特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015(11):174-179.
- [2] 李钰澈,贾坤,魏香琴,等. 中国北方地区植被覆盖度遥感估算及其变化分析[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(2): 112-117.
- [3] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等. 1982—2012 年中国植被覆盖时空变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5331-5342.
- [4] Danyar S, Yudong S, Jumakeld M. Influence of groundwater level change on vegetation coverage and their spatial variation in arid regions[J]. Journal of Geographical Sciences, 2004, 14(3): 323-329.
- [5] 杨萍,刘雪华. 基于 SPOT-VGTNDVI 的玛纳斯县植被覆盖变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(2): 43-48.
- [6] Jung G, Prange M, Schulz M. Influence of topography on tropical African vegetation coverage[J]. Climate Dynamics, 2016, 46(7/8): 1-15.
- [7] 蔡朝朝,安沙舟,蒲智,等. 基于 TMNDVI 的库尔勒市域植被覆盖动态变化[J]. 草业科学, 2015, 32(7): 1069-1078.
- [8] Miao Z H, Liu Z M, Wang Z M et al. Based on the MODIS NDVI dynamic remote sensing monitoring of vegetation coverage in Jilin Province[J]. Journal of Remote Sensing Technology and Applications, 2010, 25(3): 387-393.
- [9] Wang Q, Liu X, Lv B. Based on the SPOT-VGT data of watershed vegetation dynamics and spatial pattern characteristics in Huaihe river basin[J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 32(2): 270-277.
- [10] 廖清飞,张鑫,马全,等. 青海省东部农业区植被覆盖时空演变遥感监测与分析[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5936-5943.
- [11] 王静璞,刘连友,贾凯,等. 毛乌素沙地植被物候时空变化特征及其影响因素[J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 624-631.
- [12] 马娜,胡云锋,庄大方,等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 地理科学, 2012, 32(2): 251-256.
- [13] Yang S W, Dong B, Liu L, et al. Research on vegetation coverage change in Shengjin Lake Wetland of Anhui Province[J]. Wetlands, 2015, 35(4): 677-682.
- [14] 刘玉安,黄波,程涛,等. 基于像元二分模型的淮河上游植被覆盖度遥感研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 93-97, 267.
- [15] 邵霜霜,师庆东. 基于 FVC 的新疆植被覆盖度时空变化[J]. 林业科学, 2015, 51(10): 35-42.
- [16] Moons E, Brijis T, Wets G. Improving Moran's Index to identify hot spots in traffic safety[J]. Studies in Computational Intelligence, 2009, 176: 117-132.
- [17] da Silva E C, Silva A C, de Paiva A C, et al. Diagnosis of lung nodule using Moran's index and Geary's coefficient in computerized tomography images [J]. Pattern Analysis and Applications, 2008, 11(1): 89-99.
- [18] Nosek V, Netrdová P. What values of Moran's I and Theil index decomposition really mean under different conditions: on the issue of interpretation[J]. Letters in Spatial and Resource Sciences, 2017, 10(2): 149-159.