

基于MODIS NDVI 时间序列的植被覆盖空间自相关分析*

—以山东半岛与辽东半岛区域比较研究

王晓利^{1,2}, 姜德娟², 马大喜¹

(1. 江西理工大学建筑与测绘工程学院, 赣州 341000; 2. 中国科学院海岸带环境过程重点实验室(烟台海岸带研究所), 山东省海岸带环境过程重点实验室, 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003)

提 要: 文中应用 2000~2011 年期间的 MODIS NDVI 数据对比了山东半岛和辽东半岛植被覆盖的时间变化以及空间自相关特征。结果表明: 山东半岛和辽东半岛植被覆盖状况均较好, 其中辽东半岛植被覆盖相对更好; 2000~2011 年间两个半岛 NDVI 均呈显著上升趋势, 山东半岛的上升趋势更明显。两半岛 NDVI 的全局 Moran's I 分别为 0.896 和 0.778, 均表现为正的全局空间自相关, 植被覆盖均呈空间集聚状态, 且山东半岛植被覆盖的集聚特征更突出。局部空间自相关上, 山东半岛大部分地区、辽东半岛千山山脉以东和辽河流域的 NDVI 表现为高-高自相关, 这些区域植被覆盖较好; 而山东半岛西北部的黄河三角洲湿地区域以及莱州湾、辽东半岛千山山脉以西和半岛南端大连市的 NDVI 呈低值区集聚状态, 植被覆盖较差。总的来说, 该研究有助于了解山东半岛和辽东半岛植被覆盖的空间聚集规律和关联模式, 从而为认识研究区植被覆盖状况以及生态保护提供依据。

关键词: NDVI; 空间自相关; 区域比较; 山东半岛; 辽东半岛

中图分类号: Q948

文献标识码: A

植被作为全球生态系统的平衡调节器和生态变化的指示器, 能较好地为全球和区域生态系统变化研究提供科学依据^[1-2]。NDVI(归一化植被指数)能削弱大气辐射、交叉辐射等影响, 被称为植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子, 是目前应用最为广泛的植被指数之一^[3-4]。近年来, 植被研究大多就植被类型、植被变化及其影响因素等方面进行了探索^[5-7], 而对植被覆盖空间自相关的研究相对较少。空间自相关分析主要用于检验具有空间位置的某要素的观测值是否显著地与其相邻空间点上的观测值相关联^[8], 是定量研究自然、经济和社会领域内涉及空间关系问题的重要方法和有效手段^[9]。目前, 空间自相关分析已在景观生态学^[9,10]、经济学^[11]以及人口学^[12]等领域得到了广泛且良好的应用, 但其在植被方面研究的应用较少, 例如 Zhang 等^[13]运用空间自相关理论对蒙古高原 NDVI 的空间格局进行了研究, 发现蒙古高原的植被覆盖整体处于稳定状态, 且具有一定的空间自相关性。探究植被覆盖的空间自相关不仅能揭示植被覆盖的空间集聚特征, 更能深层次地挖掘植被覆盖的空间关联模式, 为植被覆盖以及生态环境的监测提供依据。山东半岛和辽东半岛雄踞环渤海地区, 隔渤海遥遥相对。在地质史上, 山东半岛和辽东半岛曾连在一起^[14], 两半岛气候、降水、土壤等影响植被生长的因素较相似。关于两半岛植被类型及其分区的对比研究较多^[14-16], 却较少就植被覆盖的时间变化以及空间格局特征进行对比研究。因此, 文中应用空间自相关模型对山东半岛和辽东半岛的植被覆盖特征进行区域比较, 探究两个半岛 NDVI 的空间自相关模式, 以期研究成果能为区域植被覆盖状况的认识以及生态保护与建设提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

* 收稿日期: 2012-9-19; 修回日期: 2012-10-21。

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 40901028) 资助。

作者简介: 王晓利(1985-), 女, 四川剑阁人, 硕士研究生, 主要从事遥感技术应用与研究。E-mail: nancywangxiaoli@163.com

通讯作者: 姜德娟(1979-), 女, 山东日照人, 博士, 主要从事流域水文水环境模拟研究。E-mail: djjiang@yic.ac.cn

山东半岛和辽东半岛三面环海、地域辽阔、人口众多、物产丰富、经济发达,在国民经济建设中均占据着重要地位。目前,两半岛植被覆盖以及生态环境成为研究热点之一^[17-20]。

山东半岛位于山东省东部,是中国第一大半岛,主要城市有青岛、烟台、威海等,面积达 6.6 万 km²。半岛地形以低山丘陵为主,丘陵地带平均海拔约 200m。山东半岛属暖温带湿润季风气候,年均温 11 ~ 13℃;年降水量在 650mm ~ 850mm 之间,其中约 60% 的降水量集中于夏季。天然植被类型为暖温带落叶阔叶林,地带性土壤为棕壤。辽东半岛在辽宁省南部,是中国第二大半岛,面积约 3.7 万 km²,主要城市有大连、丹东、营口等。辽东半岛属低山丘陵型地貌,平均海拔约 400m。半岛脊梁千山山脉横贯南北,山脉的东南坡较平缓,西北坡较陡峭。辽东半岛属暖温带湿润季风气候,年均温 8 ~ 10℃,年降水量介于 550mm ~ 900mm。与山东半岛相似,辽东半岛 60% 的年降水量集中于夏季,且地带性植被也为落叶阔叶林,土壤以棕壤为主。

1.2 数据与方法

1.2.1 数据来源及预处理

遥感数据采用美国 LAADS(Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System) 提供的 MODIS 植被指数产品 MOD13A2,其时间分辨率为 16 天,空间分辨率为 1km。时间序列为 2000 ~ 2011 年,共 12 年。NDVI 值根据以下公式计算:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

式中: NIR 和 R 分别表示近红外和可见光(红色)波段的光谱反射率值。

为了去除云、大气以及太阳高度角等的影响,文中采用国际通用的 MVC(最大值合成)法对数据进行时间尺度扩展计算,得到 NDVI 的月和年值:

$$N_{NDVI_i} = \max(N_{NDVI_{ij}}) \quad (2)$$

式中: N_{NDVI_i} 是第 i 月(年) NDVI 值, $N_{NDVI_{ij}}$ 是第 i 月(年)中第 j 旬(月) NDVI 值。

1.2.2 研究方法

文中主要应用空间自相关分析方法对山东半岛和辽东半岛植被覆盖的空间特征进行研究。通常采用全局和局部两种指标来度量空间自相关性,全局指标用于测度属性数据值在整个区域的空间分布特征和关联程度,对空间格局进行定量分析和综合度量;局部空间自相关主要分析各空间单元的异质性,度量每一个空间单元与邻近空间单元在特定属性上的局部空间自相关类型和关联程度^[9,23]。文中选取应用较广泛的 Moran's I 指数^[24]研究 NDVI 的空间格局。全局 Moran's I 通过以下公式计算:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

局部 Moran's I 与全局 Moran's I 成一定的比例关系,用于弥补全局指标在衡量局部状态时表现出的不稳定性。文中采用局部聚集图 LISA 研究各个邻接空间单元之间的相关性。局部 Moran's I 的计算公式为:

$$I^* = n \frac{(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x}) \quad (4)$$

式中: n 代表样本 x 的总数, \bar{x} 为样本平均数; W_{ij} 为权重矩阵,用于定义各空间单元之间的邻接关系; x_i, x_j 分别为位置 i 和 j 上的观测值。全局 Moran's I 介于(-1, 1)之间,正值表示相似样本值趋于集聚;负值表示样本之间的集聚性在空间上逐渐减小甚至消失;0 表示样本之间独立随机分布,无相关性。

MODIS NDVI 的真实值应用 MRT 和 Cygwin 软件以及编写 AML(Arc/Info Macro Language) 程序等方式获取和处理;空间自相关采用 Geoda 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 NDVI 时空特征

图 1 为山东半岛和辽东半岛 NDVI 的 12 年均值的空间分布图。根据相关文献^[18,21,22]和研究区土地利用图,NDVI 分级定义为:小于 0.1 的区域为非植被区;0.1 ~ 0.3 为植被覆盖贫乏区;0.3 ~ 0.6 为植被覆盖较贫乏区;0.6 ~ 0.8 为植被覆盖较好区;大于 0.8 为植被覆盖优良区。

NDVI 分级统计表明:辽东半岛植被覆盖状况总体上比山东半岛好。其中,辽东半岛 NDVI 大于 0.6

的区域所占比例达 96.65%；NDVI 大于 0.8 的区域即植被覆盖优良区所占比例为 67.3% ，集中分布于半岛中东部。相对而言，山东半岛大于 0.6 的区域比例为 87.35% ，而大于 0.8 的优良区则相对较少，为 31.03% 。就非植被区而言，山东半岛为 2.74% ，大于辽东半岛的 0.11% 。其中，山东半岛西北部的黄河三角洲湿地区域和莱州湾 NDVI 值小于 0.3 植被覆盖明显较差，为植被覆盖贫乏区或非植被区。

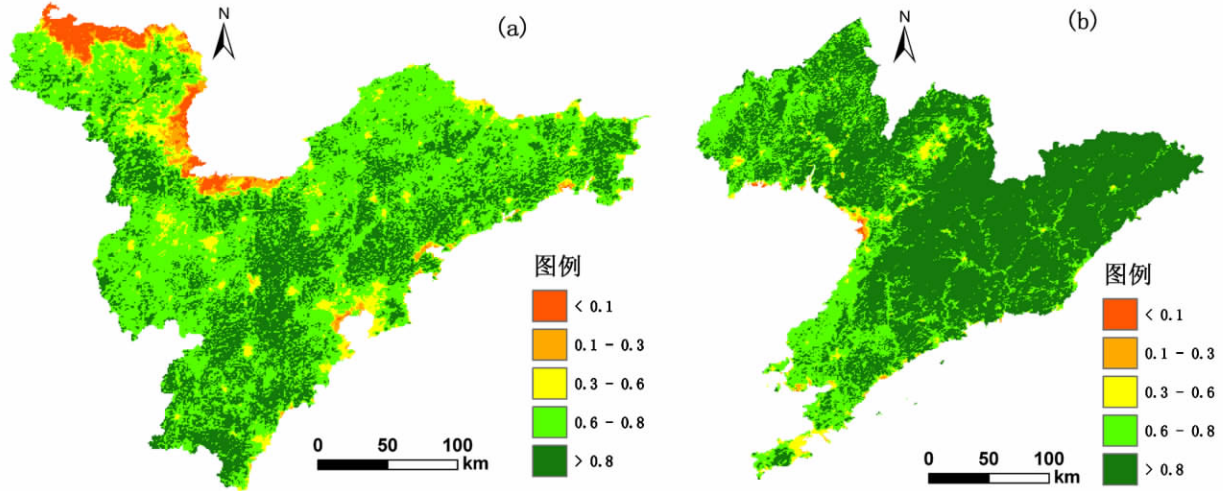


图 1 山东半岛 (a) 和辽东半岛 (b) NDVI 12a 均值的空间分布图

Fig. 1 The spatial distribution of 12 - year mean value of NDVI in Shandong peninsula(a) and Liaodong peninsula(b)

利用山东半岛和辽东半岛 2000 ~ 2011 年各年 NDVI 区域平均值绘制时间变化曲线(图 2)。整体来看，两半岛历年 NDVI 均值均大于 0.6，且辽东半岛各年 NDVI 均值均大于山东半岛。2000 ~ 2011 年间，两个半岛植被覆盖均呈显著的上升趋势，崔林丽等^[6]、侯西勇等^[17]研究也表明中国东部(沿海)自 1998 ~ 2008 年植被覆盖呈上升趋势，文中研究结果与其一致。由曲线斜率可知，山东半岛 NDVI 均值的上升趋势更为明显。

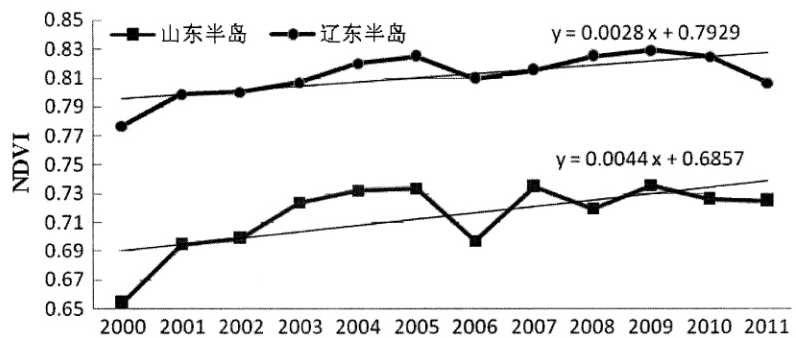


图 2 山东半岛和辽东半岛 2000 ~ 2011 年 NDVI 区域均值时间序列图

Fig. 2 The times series of regional mean value of NDVI in Shandong peninsula and Liaodong peninsula from 2000 to 2011

2.2 全局空间自相关特征

利用 Geoda 软件对两个半岛 12aNDVI 均值进行全局空间自相关分析表明(图 3)：山东半岛和辽东半岛 NDVI 的全局 Moran's I 分别为 0.896 和 0.778，两个半岛 NDVI 在整体上均表现出显著的正空间自相关，即两个半岛植被覆盖都呈集聚状态；但山东半岛 NDVI 的全局空间自相关程度比辽东半岛的更明显，表明在整体上山东半岛植被覆盖的集聚空间格局比辽东半岛的更显著。

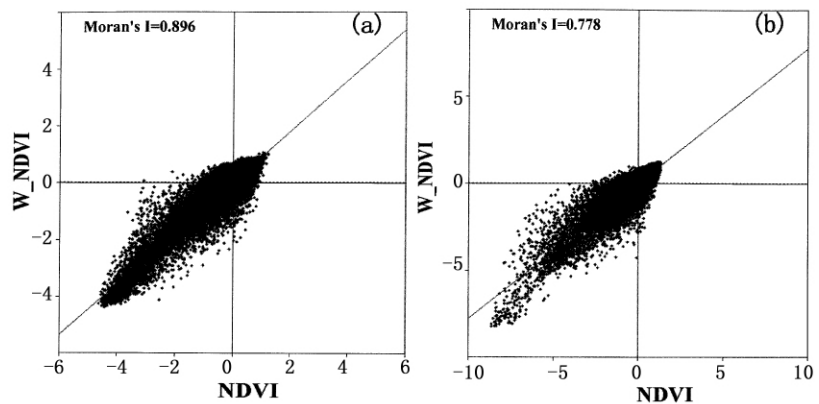


图 3 山东半岛 (a) 和辽东半岛 (b) NDVI 全局空间自相关 Moran 散点图 (W_NDVI 为 NDVI 加权平均值)

Fig. 3 Moran scatterplot of global spatial auto - correlation of NDVI in Shandong peninsula(a) and Liaodong peninsula(b)

图 4 为山东半岛和辽东半岛

2000 ~ 2011 年 NDVI 全局空间自相关的时间序列图,可见 2000 ~ 2011 年两半岛全局 Moran's I 均在 0.7 以上,说明植被覆盖均表现为较强的空间集聚状态,其中,山东半岛的植被覆盖集聚状态更显著。从 Moran's I 的 年际变化幅度来看,山东半岛植被覆盖的集聚空间格局相对稳定,而辽东半岛却表现出一定的波动性,植被覆盖的集聚空间格局变化较大。

2.3 局部空间自相关特征

由于全局 Moran's I 是对研究区域内属性数据空间自相关的综合反

映和度量,但就区域内部而言,各局部区域的空间自相关并非完全一致,而是常表现出不同性质与程度的空间异质性。因此,进一步分析 NDVI 的局部空间自相关特征,以更好地探索 NDVI 的局部空间聚集模式和规律。由图 5 可见,除西北部的黄河三角洲湿地区域和莱州湾,东部沿海区域以及零星地区 NDVI 表现为低-低自相关以外,山东半岛大多地区的 NDVI 呈高-高局部自相关状态。相对而言,辽东半岛 NDVI 的局部空间自相关整体上呈现出千山山脉以西为低值区聚集、以东为高值区聚集的空间格局;辽河流域一带 NDVI 也呈现高值区聚集特征,而半岛南端的大连市 NDVI 则为低-低自相关。NDVI 局部空间自相关分析的高-高自相关结果表明这些地区植被覆盖相对较好,且这些地区的植被覆盖之间存在某种联系,相互之间彼此影响;而低-低自相关结果表明植被覆盖较差,相互之间的影响较小^[8,11]。

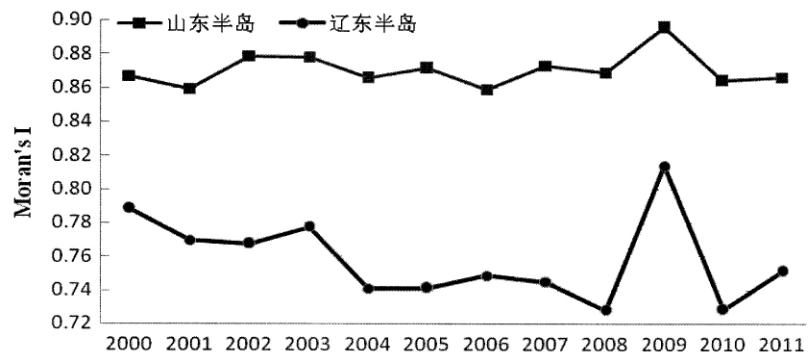


图 4 山东半岛和辽东半岛 2000 ~ 2011 年 Moran's I 时间序列图

Fig. 4 The time series of Moran's I of NDVI in Shandong peninsula and Liaodong peninsula from 2000 to 2011

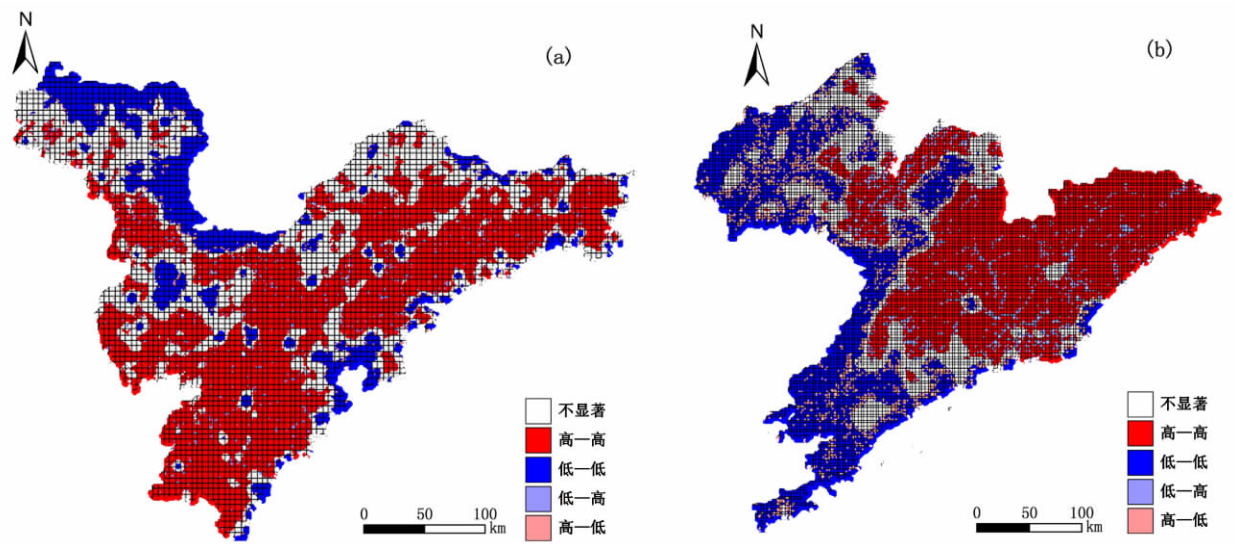


图 5 山东半岛 (a) 和辽东半岛 (b) NDVI 的 LISA 图

Fig. 5 The LISA of NDVI map of Shandong peninsula (a) and Liaodong peninsula (b)

3 讨论

(1) 全局空间自相关分析中,山东半岛 NDVI 的全局 Moran's I 为 0.896,表现出较强的自相关特征,这与山东半岛大部分地区植被类型为一年一熟或两年三熟的旱作作物以及草地、林地混合型植被类型,植被生长特征、长势情况等类似有关^[19,25,26];与此相对,辽东半岛 NDVI 的全局 Moran's I 为 0.778,原因在于辽东半岛受境内千山山脉影响,地形地势与降水等存在较大差异^[15,27,28],植被覆盖整体上的集聚性不如山东半岛明显。

(2) 局部空间自相关分析中,山东半岛 NDVI 呈高-高自相关的地区大多为农作物或草、林地混合区,

这些地区植被覆盖总体较好,NDVI 高值区集聚模式较明显;而山东半岛黄河三角洲湿地区域和莱州湾因受黄河水沙变化、陆海相互作用以及人类活动的强烈影响等^[18],生态脆弱敏感,植被覆盖较少,NDVI 呈低-低自相关。相应地,辽东半岛因千山山脉以东年降水量在 1000mm~1100mm 以上,而以西的年降水量仅在 760mm 左右,且山脉以东属于湿润的季风气候,以西为半湿润的季风气候^[28],因此植被覆盖在山脉以东良好,呈高值区集聚,而在以西则呈低值区集聚状态。此外,辽河流域一带降水充足^[27],流域规划治理有方,滩地封育成功^[29],覆盖状况也较好,因而该区域的 NDVI 也呈高值区集聚。而半岛南端大连市的 NDVI 为低-低自相关,这与大连市年降水量较半岛其他地区少^[27],且快速的经济发展和强烈的人类活动造成海水入侵、城市化加剧等诸多影响植被生长的因素^[30]有关。

(3) 结合两个半岛 12a 的 NDVI 区域均值以及空间自相关结果可知,山东半岛 12a 的 NDVI 区域均值较辽东半岛小,但全局空间自相关程度却比辽东半岛强。这是因为 Moran's I 指示的是植被覆盖的空间聚集特征,而 NDVI 反映的是植被覆盖的良莠程度。可见,二者结合分析不仅能探究研究区的植被覆盖状况,更能从空间分布上直观地获悉其聚集特征。

4 结论

(1) 从整体性来看,山东半岛和辽东半岛植被覆盖均较好,其中辽东半岛植被覆盖状况相对更好;2000~2011 年期间,两半岛植被覆盖均呈显著的上升趋势,其中山东半岛的上升趋势更为明显。

(2) 山东半岛和辽东半岛 NDVI 的全局 Moran's I 分别为 0.896 和 0.778,均呈正的全局空间自相关,两个半岛植被覆盖均表现为空间集聚状态,NDVI 趋同性明显,其中山东半岛植被覆盖的聚集性相对较强。

(3) 山东半岛大部分区域,辽东半岛千山山脉以东和辽河流域的 NDVI 均表现为高-高自相关,这些区域植被覆盖较好;山东半岛西北部黄河三角洲湿地区域和莱州湾,辽东半岛千山山脉以西以及半岛南端大连市植被指数为低-低自相关,植被覆盖较差。

综上,将空间自相关模型应用于植被覆盖研究,与传统的植被变化特征、影响因素等研究相比,其更能揭示植被覆盖的空间聚集模式和规律,形象、直观地获得研究区内植被覆盖的集聚状态,为植被覆盖空间特征研究提供行之有效的方法之一。然而,作为空间数据统计指标,Moran's I 和 LISA 图虽然能反应出植被覆盖的空间集聚模式和规律,但就本质而言,其仅代表了一种数据间的统计关系,而植被与众多自然因素如温度、降水以及人文因素如人口、城市化进程等密切相关,因此,今后应结合这些因素进行更全面、更深层的探究。

参考文献

- [1] Michel C, Richard A B, Peter M C. Vegetation and climate variability: a GCM modeling study [J]. *Climate Dynamics*, 2005, 24: 457-467.
- [2] 马宗文,许学工,卢亚灵. 环渤海地区 NDVI 拟合方法比较及其影响因素 [J]. *生态学杂志*, 2011, 30(7): 1558-1564.
- [3] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系 [J]. *遥感学报*, 1998, 2(3): 204-210.
- [4] FANG Jingyun, PIAO Shilong, HE Jinsheng, et al. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982-1999 [J]. *Science in China. C Life Sciences*, 2004, 47(3): 229-240.
- [5] 李晓兵,史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 379-382.
- [6] 崔林丽,史军,萧风劲,等. 中国东部 NDVI 的变化趋势及其与气候因子的相关分析 [J]. *资源科学*, 2010, 32(1): 124-131.
- [7] 李春晖,杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系 [J]. *地理研究*, 2004, 23(6): 753-759.
- [8] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-4.
- [9] 刘吉平,吕宪国,崔炜炜. 别拉红河流域湿地变化的多尺度空间自相关分析 [J]. *水科学进展*, 2010, 21(3): 392-398.
- [10] 陆亚灵,颜磊,许学工. 环渤海地区生态脆弱性评价及其空间自相关分析 [J]. *资源科学*, 2010, 32(2): 303-308.
- [11] Li F, Zhou C H. Spatial autocorrelation analysis on regional economic disparity of northeast economic region in China [J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2009, 7(2): 27-31.
- [12] 张玉,董春. 澜沧江流域(云南段)人口密度空间自相关分析 [J]. *测绘科学*, 2011, 36(4): 118-120.
- [13] Zhang X Y, Hu Y F, Zhuang D F, et al. NDVI spatial pattern and its differentiation on the Mongolian Plateau [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19: 403-415.
- [14] 鲁法军,杜晓艳,曲畅游,等. 再论山东半岛和辽东半岛植物区系在区划中的地位 [J]. *植物生态学报*, 2005, 29(3): 516-518.
- [15] 王仁卿. 山东半岛和辽东半岛植被的比较研究 [J]. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1984, 8(1): 41-50.
- [16] 曹艳英,田其云. 胶东半岛与辽东半岛现代植被发展趋势研究 [J]. *烟台师范学院学报(自然科学版)*, 1998, 14(2): 128-133.
- [17] 侯西勇,应兰兰,高猛,等. 1998-2008 年中国东部沿海植被覆盖变化特征 [J]. *地理科学*, 2010, 30(5): 735-741.

- [18] 李明杰, 侯西勇, 应兰兰, 等. 近十年黄河三角洲 NDVI 时空动态及其对气温和降水的响应特征[J]. 资源科学, 2011, 33(2): 322-327.
- [19] 梁守真, 刑前国, 施平, 等. 山东省典型地表植被 NDVI 时间序列谐波分析[J]. 生态学杂志, 2011, 30(1): 59-65.
- [20] 刘亚龙, 王庆, 张明明, 等. 山东地区 NDVI 与气象因子持续性分析[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1777-1782.
- [21] 王兮之, 梁钊雄. 基于 MODIS 数据的湟水流域植被覆盖变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6): 137-142.
- [22] 王丽霞, 任志远, 任朝霞, 等. 延河流域 NDVI 与主要气候因子的时空相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 88-93.
- [23] 宋鸿, 陈晓玲. 运用空间自相关分析中国入境旅游增长空间格局[J]. 世界地理研究, 2006, 15(1): 99-106.
- [24] 陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J]. 地理研究, 2009, 28(6): 1449-1463.
- [25] 王仁卿. 山东森林植被恢复的生态学研究[D]. 山东大学, 2005.
- [26] 初建朋, 姚云军. 基于 ArcGIS 的山东省植被空间格局[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2010, 24(6): 15-18.
- [27] 孙莹, 万丽岩, 江静. 辽宁降水分区变化特征及夏季降水影响因子分析[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(3): 18-23.
- [28] 董厚德. 辽宁植被区划[M]. 沈阳: 辽宁大学出版社, 1987.
- [29] 高素丽. 辽河流域河道生态工程建设方案[J]. 水土保持应用技术, 2011(6): 35-38.
- [30] 魏莉, 张勇. 大连市海岸带生态环境存在主要问题及保护措施[J]. 辽宁城乡环境科技, 2006, 26(4): 47-49.

Spatial auto – correlation analysis of vegetation cover using MODIS NDVI time series data – regional comparison of Shandong peninsula and Liaodong peninsula

WANG Xiaoli^{1,2}, JIANG Dejuan², MA Daxi¹

(1. College of Architectural and Surveying & mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000; 2. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research (YIC), Chinese Academy of Sciences (CAS); Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, YICCAS, Yantai, Shandong 264003, P. R. China)

Abstract: In this paper, the MODIS NDVI data from 2000 to 2011 was used to comparatively analyze the temporal characteristics and spatial auto – correlation pattern of vegetation cover in Shandong peninsula and Liaodong peninsula. The results showed that vegetation cover in Shandong peninsula and Liaodong peninsula was good and the later was relatively better. A significant upward trend in vegetation cover was found in Shandong peninsula and Liaodong peninsula, which was more notable in Shandong peninsula. The global spatial auto – correlation index of NDVI in Shandong peninsula and Liaodong peninsula were 0.896 and 0.778 respectively, indicating a positive global spatial auto – correlation and the spatial agglomeration of vegetation cover in both peninsulas, which was more prominent in Shandong peninsula. Moreover, NDVI displayed high – high auto – correlation in most parts of Shandong peninsula, the east of Qianshan Mountains and Liao River Basins in Liaodong peninsula, which suggested that vegetation cover on these areas was excellent. In contrast, NDVI showed low – low auto – correlation in the Yellow River Delta wetland and Laizhou Bay region of northwest Shandong peninsula, the west of Qianshan Mountains and Dalian City in Liaodong peninsula, which implied that the pixels with similar low NDVI values tended to be assemble, and vegetation cover on these regions was poor. Overall, this study can promote to better understand the characteristics of spatial and association pattern of vegetation cover in the Shandong peninsula and Liaodong peninsula, and may provide a reference for recognizing the vegetation cover situation and protecting the ecological environment for the both peninsulas.

Key words: NDVI; spatial auto – correlation; regional comparison; Shandong peninsula; Liaodong peninsula