

基于 Mann-Kendall 方法的胶东半岛海岸带 归一化植被指数趋势分析

刘亚龙¹, 王庆^{1*}, 毕景芝¹, 张明明¹, 邢前国², 施平²

(1 鲁东大学 海岸研究所, 山东 烟台 264025; 2 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 利用 1998—2008 年 SPOT/VEGETATION 逐旬共 372 期归一化植被指数时间序列影像数据, 引入 Mann-Kendall 非参数趋势检验方法, 分析了胶东半岛最近 10 a 来的归一化植被指数变化趋势。结果表明, 最近 10 a 来, 胶东半岛归一化植被指数变化趋势以衰减区域居主导地位, 其中有明显衰减变化趋势的区域占半岛总面积的 19.3%, 有明显增强变化趋势的区域仅占半岛总面积的 2.8%。归一化植被指数衰减区域在空间上沿海岸线呈环状分布, 从沿海岸到远离海岸, 归一化植被指数增强趋势逐渐明显, 衰减最明显的区域大部分位于半岛沿海 30 km 以内, 植被增强趋势最明显区域位于半岛中部山地及沿海防护林地区。人类活动及其空间分布是归一化植被指数变化的主要因素, 其中沿海城市化、工业化和海岸湿地开发利用程度的提高导致归一化植被指数衰减, 而山地植被保护和海岸防护林建设导致归一化植被指数增强。

关键词: 归一化植被指数; 时间序列; Mann-Kendall 趋势分析; 海岸带; 胶东半岛

中图分类号: Q948.15+6

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2010)03-0079-09

1 引言

土地覆被变化(LUCC)是全球变化研究的核心内容之一^[1-3]。植被是全球土地覆被最重要、最敏感的构成要素之一, 可在较短时间尺度上反映气候变化与人类活动的影响。陆地、海洋直接相互作用的海岸带, 既是人口、城市和工业最集中的地区, 也是介于陆海两大生态系统间的生态环境脆弱带^[4-5]。因此, 开展海岸带植被变化趋势研究, 对全球变化和陆海相互作用(LOICZ)研究均有重要意义。

卫星遥感是当前最重要的植被监测手段之一, 归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)则是最常用的生物物理参数和地表生态环境参数^[6-10]。在目前的 NDVI 研究中研究区

域多为全国性或大尺度范围^[11-18], 对于区域性尤其对海岸带 NDVI 趋势特征分析相对较少; 数据源多采用 Pathfinder 的 AVHRR-NDVI 数据(分辨率为 8 km × 8 km)^[6-9, 15-19], 而对于分辨率较高(1 km × 1 km)、连续性强与平稳性好的 SPOT/VEGETATION 数据使用相对较少^[16]。常用时间序列分析方法主要有主成分分析^[19]、R/S 法^[14]、傅立叶小波分析^[15, 18, 20]、Pearson 相关系数分析法等^[16-17], 而对于更适合非正态分布数据的 Mann-Kendall 非参数检验方法使用相对较少。

胶东半岛为我国重要的沿海开放地区, 最近 30 a 来经济社会发展迅猛, 近年来又在全国率先实施蓝色经济区战略, 对此区域 LUCC 近年来已得到重视和研究。研究表明, 包括该地区在内的我国若干沿海区域, 其土地覆被变化自 1982—1999 年主要

收稿日期: 2009-09-02; 修订日期: 2010-04-28。

基金项目: 山东省自然科学基金重点项目(Z2008E03; Z2003E01); 烟台市科技攻关项目(2008323); 山东省高等学校科技计划项目(J09LE07); 山东省科技项目(2007GG2QT06019); 教育部重点项目(210122)。

作者简介: 刘亚龙(1985—), 男, 甘肃省天水市人, 硕士, 从事全球变化、海岸带遥感监测研究。E-mail: liuyulong008@163.com

* 通信作者: 王庆, 教授, 从事河口海岸、全球变化研究。E-mail: wangqing@tom.com

受经济发展以及城市化影响^[21-22], 而根据对 NDVI 的时间序列分析结果, 20 世纪最后 20 a 胶东半岛植被变化已呈现衰减趋势, 其原因主要是由于此地区快速城市化^[16-17,23]。本文以 SPOT/VEGETATION 遥感数据为数据源, 利用 Mann Kendall 非参数检验方法, 揭示最近 10 a 来胶东半岛海岸带 NDVI 变化趋势, 它可为海岸带植被变化监测提供依据, 还在 NDVI 时间序列分析方法上进行了探索。

2 研究区域概况

胶东半岛位于胶莱河以东, 濒临渤海和北黄海, 面积约为 $2.7 \times 10^4 \text{ km}^2$, 为我国三大半岛之一(图 1)。地貌类型以变质岩、花岗岩丘陵为主, 地势起伏平缓, 海拔多在 500 m 以下, 只有少数中、低山突出于丘陵之上。以海拔 100 m 为界限, 小于 100 m 区

域是地势比较平缓的平原、丘陵, 而大于 100 m 区域是地势起伏较大的丘陵、低山。最高峰为南部的崂山(海拔 1 133 m), 中部、东部的牙山、昆嵛山、伟德山、罗山、大泽山等低山构成半岛山地主体, 受地质构造控制多为近北东、北北东走向。气候属暖温带湿润季风气候, 1 月均温为 $-3 \sim -1 \text{ }^\circ\text{C}$, 8 月均温约为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上年活动积温为 $3\ 800 \sim 4\ 100 \text{ }^\circ\text{C}$; 降水量为 $650 \sim 850 \text{ mm}$, 但降水的区域分布和季节分布不均匀, 在东南部山地有 800 mm 以上, 在西北滨海平原只有约 600 mm, 年降水量约 60% 集中于夏季。河流自中部、东部山地向南北分流, 均为短小的山溪性河流, 主要有胶莱河、大沽河、五龙河、大沽夹河、母猪河等。地带性土壤为典型棕色森林土, 天然植被为暖温带落叶阔叶林, 目前已经被次生林、荒草地、果园、农田所取代。



图 1 胶东半岛地理位置

胶东半岛为典型的温带基岩山地港湾海岸, 海湾众多, 砂质岸线漫长, 海岸湿地及浅水水域面积广阔, 海滩及风沙地貌典型。半岛地区人口高达 1609 万人, 拥有包括青岛、烟台、威海在内的 17 个城市, 是我国经济发展水平最高的地区之一。20 世纪 50 年代到 70 年代, 沿海岸线种植了以防风固沙为目的的海岸防护林。1978 年改革开放以来, 青岛、烟台(含威海)被确定为全国第一批 14 个沿海开放城市之一, 海湾、岸线、滩涂和海滩得到深度开发利用, 水

产养殖业和海岸旅游休闲业发展迅猛, 但同时也导致海岸湿地、生物多样性及海岸防护林破坏严重。例如, 1963—1964 年时胶州湾潮间带有水产资源 171 种, 到 1974—1975 年时降至 30 种, 到 1985 年仅有 17 种^[24]。最近 10 a 来海岸带人地关系演变出现了新特点, 主要表现为在注重生态环境保护的同时, 城市化、工业化水平和海岸带资源开发利用程度也迅速提高。

3 研究方法

3.1 遥感数据处理

NDVI 数据为 1998 年 4 月 1 日到 2008 年 7 月 21 日的 SPOT/VEGETATION 数据, 来自国家自然基金委中国西部环境与生态科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn>)。该数据已经过植被影像处理中心的大气校正、辐射校正、几何校正, 产生 10 d 最大化合成 NDVI 数据后, 将 $-1 \sim -0.1$ 值设置为 -0.1 , 再通过公式 $DN = (i_{ndv} + 0.1) / 0.004$ 转换到 $0 \sim 250$ 的灰度值 (DN 表示像元的灰度值, i_{ndv} 表示归一化植被指数)。为显示方便, 本文对 372 幅影像每个像元灰度值数据按 $i_{ndv} = DN \times 0.004 - 0.1$ 拉伸, 将数据范围拉伸至 $0 \sim 1$ 。地形数据来源于美国地质勘察局 (<http://edcscns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>), 空间分辨率是 90 m, 每个 90 m 的数据点是由 9 个 30 m 的数据点经算术平均得来。由于所用 VEGETATION/NDVI 数据的分辨率与 DEM 不同, 因此对 DEM 进行重采样使之与 NDVI 影像空间分辨率一致。

3.2 Mann Kendall 检验方法

与使用参数检验的方法相比, Mann Kendall 非参数检验方法所用样本不需要遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 已经在水文、气象时间序列分析中得到成功应用^[25-27]。在用 Mann Kendall 法进行 NDVI 趋势检验时, 原假设 H_0 表示数据集 X 的数据样本独立分布 (即没有变化趋势存在), 可选假设 H_1 表示数据集 X 中存在一个单调的变化趋势, 把每一个像元 10 a 的 NDVI 看作一个时间序列数据, 以 Mann Kendall 统计量 Z_s 和 Kendall 倾斜度 β 作为单位像元 NDVI 衰减指标。参数 Z_s 和 β 计算公式如下:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{s(S)}} & S > 0, \\ 0 & S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{s(S)}} & S < 0, \end{cases} \quad (1)$$

式中,

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i); \quad (2)$$

$$s(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}; \quad (3)$$

$$\text{sgn}(x_k - x_i) = \begin{cases} 1 & x_k - x_i > 0, \\ 0 & x_k - x_i = 0, \\ -1 & x_k - x_i < 0, \end{cases} \quad (4)$$

其中 x_k 和 x_i 为样本数据值; n 为数据集合长度; sgn 是符号函数。如果 $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z_s \leq Z_{1-\alpha/2}$, 原假设 H_0 即被接受。 $\pm Z_{1-\alpha/2}$ 是标准正态偏差, α 为检验的置信水平, 当统计量的绝对值大于 1.96 时表示时间序列置信水平小于 0.05, 统计量的绝对值小于 1.96 表示置信水平大于 0.05。

$$\beta = n_m \left[\frac{x_i - x_j}{i - j} \right], \quad \forall j < i \quad (5)$$

式中, $1 < j < i < n$; n_m 表示中位数的函数; β 是用单位时间内变化量来量化的单调趋势, 表示植被衰减趋势的程度。 β 越小表示植被衰减程度越大, 越大则表示植被增强程度越大。 β 大于 0 反映植被时间序列呈增强趋势, 反之则呈衰减趋势。

3.3 DEM-NDVI 衰减相关分析

胶东半岛面积较小, 而且在十年尺度上气候变化和区域差异不显著, 因此在分析影响植被变化趋势的自然因素时, 本文仅考虑区域差异比较显著的地形与 NDVI 的关系。为了定量地计算地形与 NDVI 衰减空间分布的相互关系, 采用皮尔森 (Pearson) 相关分析方法对根据 Mann Kendall 法得出的 NDVI 趋势影像与 DEM 做了相关分析, 其中计算所用的 NDVI 趋势影像是密度分割前的 Kendall 统计量 Z_s 影像, 即影像的灰度值为用 Mann Kendall 法计算出来的统计量; 所用 DEM 影像已经过投影与空间分辨率转换, 即 DEM 影像与统计量图像的几何信息保持一致, 空间分辨率已经重采样与 NDVI 趋势影像一致; 对用于相关分析的影像均进行背景值剔除。

4 研究结果

4.1 平均 NDVI 分布

对每个像元的 NDVI 序列数据进行平均, 生成一幅均值图像来代表 1998—2008 年的 NDVI 平均概况, 其中 NDVI 划分为 5 个等级 (见图 2)。关于 NDVI 等级的划分标准, 尤其是最重要的第一等级的划分界限, 不同研究者对不同研究地区采用不同的数值。有的研究者把 0.099 作为所有植被类型生长季开始的 NDVI 阈值^[28], 有的研究者认为不同植被类型生长季开始的 NDVI 阈值是不同的^[29], 有的研究者以 NDVI 等于 0.12 作为荒漠化与草原变

化的标志^[30]。根据胶东半岛海岸带植被覆盖的实际情况,本文选择 NDVI 等于 0.3 作为划分第一等

级的阈值,它能很好地区分植被覆盖很低的沿海养殖区以及沿海城镇。

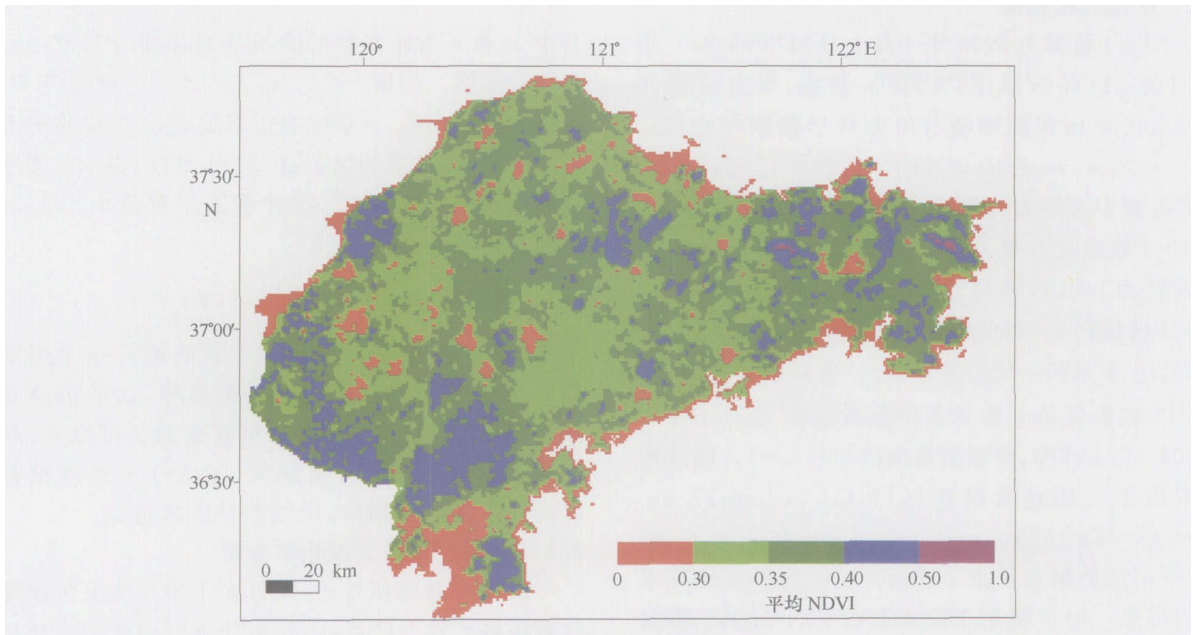


图 2 1998—2008 年胶东半岛平均 NDVI 分布

NDVI 小于 0.30 的区域主要包括沿岸水产养殖区、港口建设区和城镇化程度较高的地区,该地带为环半岛分布的生态环境脆弱带,这是胶东半岛海岸带 NDVI 分布的最显著特征。该地带植被生长深受海陆交互作用、人类水产养殖、港口城市建设的影响,在青岛、烟台、威海、莱州、龙口等城市、港口附近显著展宽。NDVI 阈值小于 0.30 的区域还包括零散分布的一些山地水库、坑塘等水体和绿化水平低的城镇。NDVI 介于 0.30~0.35 的区域主要集中在半岛中部、西部地区,其中南岸主要分布在海拔 50~100 m 的丘陵区,北岸则主要分布在海拔 100~200 m 的丘陵区。NDVI 介于 0.35~0.40 的区域在半岛东部最集中。NDVI 介于 0.4~0.5 的区域主要分布在海拔低于 50 m 的地势平坦地区以及崂山、昆嵛山、伟德山等植被保护较好的山地,尤其以西部的胶莱盆地最为集中。NDVI 大于 0.5 的区域仅分布在昆嵛山和伟德山,这两个地区是整个胶东半岛植被覆盖最好的区域。

4.2 NDVI 趋势变化

以 $|Z_s|$ 等于 1.96 为临界阈值, $|Z_s|$ 大于 1.96 表示置信水平小于 0.05, 即变化趋势显著, 统计量

绝对值小于 1.96 表示置信水平大于 0.05, 即变化趋势不显著, 将胶东半岛植被变化趋势划分为 4 种类型(见图 3)。图 3 中统计量大于 -1.96 的区域为植被明显衰减的区域, 统计量大于 1.96 的区域为明显增强的区域, 统计量大于 -1.96 且小于 0 的区域为无明显衰减的区域, 统计量大于 0 且小于 1.96 的区域为无明显增强的区域。统计表明, 1998 到 2008 年胶东半岛植被衰减型区域面积占 67.7%, 而增长型区域只有 32.3% (见表 1)。因此, 最近 10 a 来胶东半岛植被被整体以衰减居于主导地位。从衰减和增加的显著程度看, 呈明显衰减趋势的区域只有 19.3%, 呈明显增加趋势的区域只有 2.8%, 两者占整个半岛面积比例不到四分之一, 其余大部分增长或衰减地区的变化趋势不显著。

对整个胶东半岛地区 Kendall 倾斜度 β [公式 (5)] 进行统计, 得到 Kendall 倾斜度直方图(见图 4), 其中横轴代表倾斜度, 大于 0, 小于 0 分别表示植被增强、衰减, 等于 0 表示植被变化趋势不明显; 纵轴表示不同倾斜度的值的像元个数。结果表明, Kendall 倾斜度为 0 的像元有 4 675 个(占 13.72%), 把 Kendall 倾斜度为 0 的像元从统计量大于 -1.96 且小于 0 中

去掉, 衰减型像元数量所占比例为 54%, 明显大于增强趋势像元数。对整个区域的统计量和倾斜度求平

均值得 \bar{Z}_s 为 -0.847 75, $\bar{\beta}$ 为 -0.011 727, 这个结果也表明整个区域 NDVI 变化趋势呈现衰减。

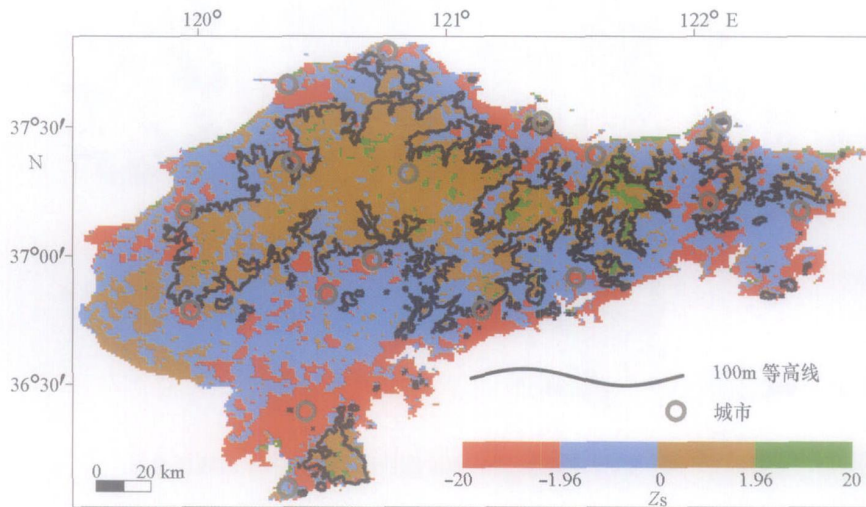


图 3 1998—2008 年胶东半岛 NDVI 趋势

表 1 不同类型植被趋势所占面积与比例

植被趋势	面积/km ²	百分比(%)
衰减	明显	5172.758 ¹⁾ / 19.265.696.4
	不明显	13.011.105 ²⁾ / 48.459.255.0
增长	不明显	7.913.224 ²⁾ / 29.472.434.5
	明显	753.49 ¹⁾ / 2.806.338.43

注: 1) 置信水平 α 小于 0.05; 2) 置信水平 α 大于 0.05。

以平均 NDVI 值 0.35 作为植被覆盖程度高低的划分阈值, 对植被覆盖低且呈衰减趋势即统计量大于 0 且平均 NDVI 小于 0.35 的地区统计结果显示, 除位于内陆的栖霞市外其他各城市市区及附近地区的植被覆盖低且衰减趋势明显, 其中尤其以半岛南部和东北部沿岸最明显, 在这些地区应该恢复、保护地表植被, 在沿海地区重点是种植防护林(见图 5 中黑色区域)。

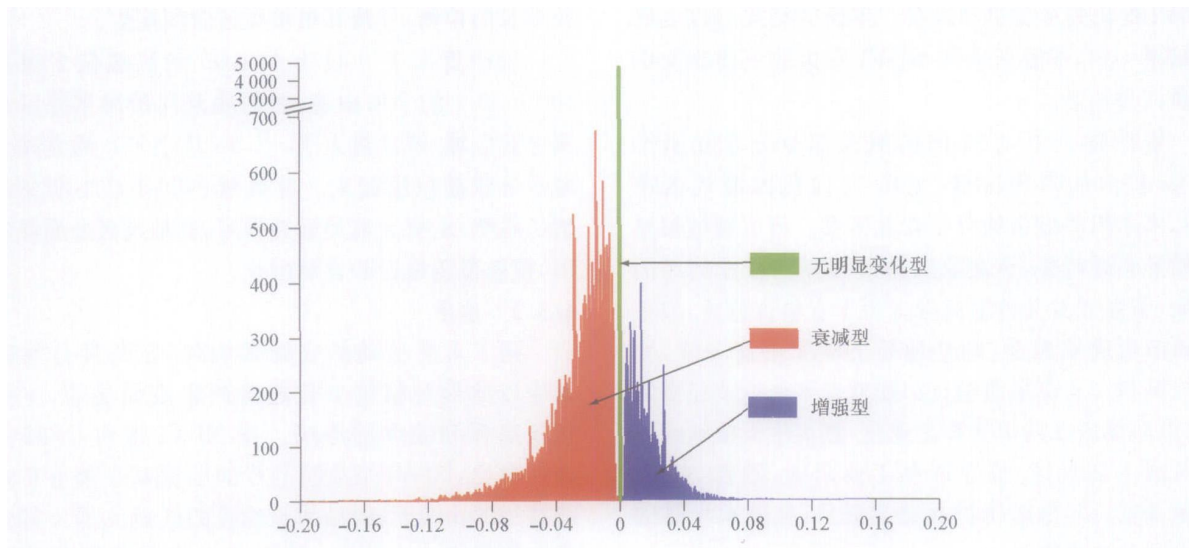


图 4 胶东半岛 Kendall 倾斜度直方图

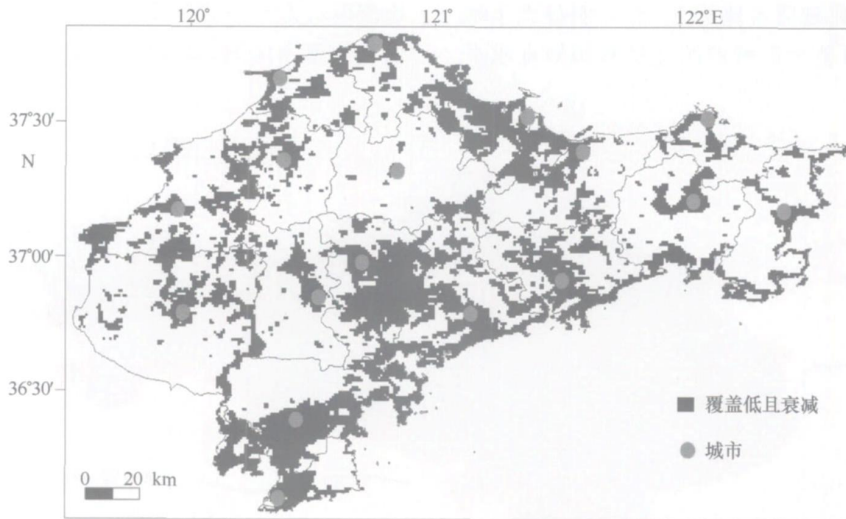


图5 1998—2008年植被覆盖率较低且统计量小于0的地区分布

4.3 NDVI 变化的影响因素

4.3.1 人类活动

研究表明, 20 世纪 80 年代初到 90 年代末在我国东部沿海经济发展较快的地区 NDVI 呈下降趋势, 但不明显。对于 NDVI 下降的主要驱动力有的研究者认为是城市化^[16-17], 有的研究者认为在沿海地区 NDVI 变化属于较弱气候驱动型^[12]。对 1979—2004 年大亚湾地区土地利用研究表明土地覆被变化特征与该区域过去的环境、经济活动发展历程有关^[31]。另外, 有的根据对普吉特湾地区的研究^[32], 认为人为因素、高速公路密度、平均高程等是 NDVI 变化的主要驱动因素。本研究结果与以上研究结果一致, 即胶东半岛 NDVI 变化的主要驱动因素是人类活动。

统计量小于 1.96 的区域大部分分布在沿岸 30 km 以内的带状区域(见图 3, 白色圆圈代表市区), 半岛沿海城市均分布在此区域。该区域植被呈现明显衰减趋势, 衰减原因为: (1) 在已开发利用的滩涂、沼泽以及其他沿海湿地原有植被覆盖, 但是都被改造成养殖池、晒盐池后 NDVI 迅速下降, 尤其以莱州市北部最典型; (2) 随着近年来临港经济发展, 沿海地区已城市化和工业化, 原本生长植被的区域变成了居民区、商业区和工业园区, 导致 NDVI 迅速衰减; (3) 沿岸防护林建设滞后, 在胶东半岛南岸表现尤为突出。

统计量大于 1.96 的区域分布面积较小, 以半岛东部的昆崙山区最为集中, 在崂山、栖霞市东部山区

有零星分布, 在半岛北部、东北部则为狭窄的沿海防护林。这些地区近年来多被开发为旅游景区或自然保护区, 天然次生林或者人工林面积较大, 人类对森林的直接开发利用程度较低, 植被变化呈现出显著的增强趋势。

统计量大于 -1.96 且小于 0 的区域在胶东半岛占优势地位, 围绕中东部山地呈明显环状分布。这些区域的 NDVI 基本大于 0.3, 主要为海拔 30~100 m 的果园和农田, 其植被呈不明显的衰减趋势。其植被趋势变化受农业活动的影响, 即在研究时间段内农业活动减弱了, 如生长季短的作物取代了生长季长的作物, 导致其植被覆盖时间缩短。

统计量大于 0 且小于 1.96 的区域位于海拔 100 m 以上的半岛山地, 西部胶莱河沿岸平原区也属于此区域, 统计量大于 -1.96 且小于 0 的衰减区域呈环状被包围起来。此区域 NDVI 呈不明显的增长趋势, 主要土地类型为果园、林地及部分灌溉农田, 植被覆盖稳定并有所增长。

4.3.2 地形

除了人类活动的直接影响外, 在各种自然因素中以地形对植被变化趋势的影响最显著, 主要包括高程和坡度的影响。将 NDVI 图和 DEM 图叠加对比, NDVI 呈衰减趋势的区域基本都分布在海拔 100 m 以下, 而呈增长趋势的区域大部分都分布在海拔 100 m 以上(见图 3)。在具有明显衰减的区域($Z_s < -1.96$), 海拔低于 100 m 的部分占此类趋势的 97% (见表 2), 而在明显衰减区域内

($Z_s > 1.96$), 海拔高于 100 m 的部分占总的具有明显增强趋势的 70.5%。通过以上四种不同趋势

面积与地形关系分析, 植被衰减或增强区域分布明显受地形的影响。

表 2 胶东半岛 NDVI 变化趋势与高程关系

	Z_s							
	< - 1.96		- 1.96~ 0		0~ 1.96		> 1.96	
高程/m	< 100	> 100	< 100	> 100	< 100	> 100	< 100	> 100
面积/km ²	5015.1	157.6	10433.8	2577.3	2681.4	5231.9	222.3	531.2
比例(%) ¹⁾	18.7	0.59	38.86	9.6	10	19.5	0.83	2.0
比例(%) ²⁾	97	3	80.1	19.9	33.9	66.1	29.5	70.5

注: 1) 不同 NDVI 趋势在不同高程的面积比例; 2) 每一种 NDVI 趋势在不同高程的面积比例。

对 34 071 个样本(即剔除背景后的像元)的统计量与 DEM 相关分析表明, 剔除影像背景后的相关系数为 0.452 1(剔除以前是 0.604 8), 显著性水平小于 10^{-20} , 这说明 NDVI 衰减趋势与 DEM 之间具有很高的相关性, 即 NDVI 随着高程的增加呈现更强的增强趋势。把高程高于 100 m 的地区和统计量大于 0 的地区对比发现, 这两部分地区在空间上吻合较好(见图 3), 这也说明 NDVI 趋势受高程影响较大。

根据 DEM 数据生成的坡度(图 6)、坡向影像

(计算卷积核大小是 3×3), 分别用坡度影像图、坡向影像和 NDVI 趋势影像做相关分析, 结果表明, 统计量与坡度的相关系数为 0.310 4, 显著性水平为 10^{-20} ; 统计量与坡向的相关系数为 0.034 4, 其相关程度较之前者低很多。这说明地形坡度即地面的陡峭程度对植被变化趋势影响较大, 而坡向即不同坡面得到的太阳辐射多少对植被变化趋势影响不大。以坡度 1.2 为界, NDVI 呈增强趋势的基本分布在坡度大于 1.2 这一区域, 明显衰减区域分布在坡度介于 0~ 0.5 的区域(见图 3, 6)。

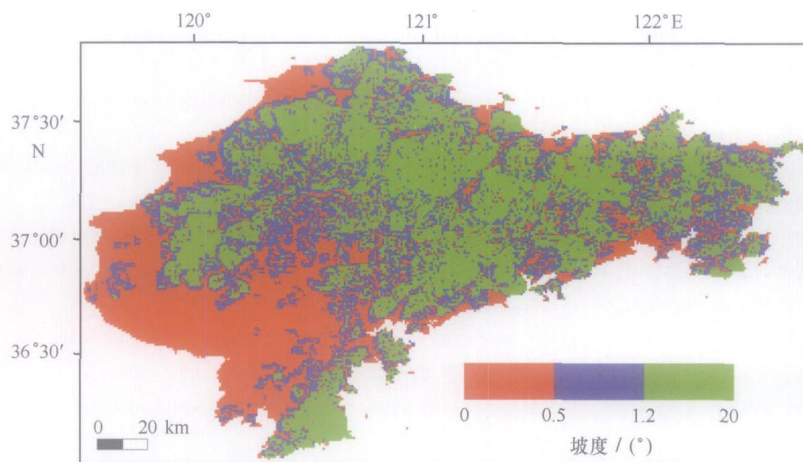


图 6 胶东半岛坡度分布

根据以上分析, 胶东半岛 NDVI 变化趋势受地形因素影响很大, NDVI 趋势与 DEM 分布都是沿海岸带呈环状分布。需要指出, 由于胶东半岛的植被均为人工植被或天然次生林, 地形对 NDVI 变化趋势的影响在很大程度上是通过人类活动间接发生

作用的。这是因为, 在低海拔区域便于农业开发利用, 其植被趋势在很大程度上呈衰减特征; 在平坦的地区更利于城市建设, 胶东半岛城市化最快的区域主要是一些比较平坦的地区, 也是人口最集中的地区。另一方面, 从 1999 年制定并实施山地退耕还

林、还草政策后,地势较高、坡度较大的部分耕地转换为林地或者荒草地。

5 结论

最近 10 a 来,胶东半岛 NDVI 变化趋势以衰减区域居于主导地位,其中有明显衰减变化趋势的区域占半岛总面积的 19.3%,没有明显衰减趋势的区域占半岛总面积的 48.4%,有明显增强变化趋势的区域仅占半岛总面积的 2.8%。

在胶东半岛海岸带 NDVI 衰减在空间上沿海

岸线呈环状分布,从沿海岸到远离海岸 NDVI 增强趋势逐渐明显,衰减最明显的区域大部分位于半岛沿海 30 km 以内,植被增强趋势最明显的区域位于半岛中部山地及沿海防护林地区。

人类活动及其空间分布是 NDVI 变化的主要因素。一方面,沿海城市化、工业化和海岸湿地开发利用程度的提高导致 NDVI 衰减,而山地植被保护和海岸防护林建设导致 NDVI 增强。另一方面,地形对 NDVI 变化趋势的影响也是通过人类活动间接实现的。

参考文献:

- [1] LIU Jiyuan, LIU Mingliang, DENG Xiangzheng, et al. The land use and land cover change database and its relative studies in China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2002, 12(3): 275—282
- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. *地理学报*, 1996, 51(6): 553—558
- [3] 方精云. 全球生态学: 气候变化与生态响应[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 1—24
- [4] 李凡. 海岸带陆海交互作用(LOICZ)研究及我们的策略[J]. *地球科学进展*, 1996, 11(1): 19—23
- [5] 吴志峰, 胡伟平. 海岸带与地球系统科学研究[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(4): 346—351
- [6] JAKUBAUSKAS M E, LEGATES D R, KASTENS J H. Crop identification using harmonic analysis of time series AVHRR NDVI data [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2002, 37: 127—139
- [7] SPANNER M A, PIERCE L L, RUNNING S W, et al. The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests: relationship with leaf area index[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1990, 33: 97—112
- [8] RICOTTA C, AVENA G, DE PALMA A. Mapping and monitoring net primary productivity with AVHRR NDVI time series: statistical equivalence of cumulative vegetation indices[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1999, 54: 325—331
- [9] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 413—424
- [10] MASELLI F. Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89: 428—433
- [11] MARKON C J, FLEMING M D, BINNIAN E F. Characteristics of vegetation phenology over the Alaskan landscape using AVHRR time series data[J]. *Polar Record*, 1995, 31: 179—190
- [12] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983—1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 716—720
- [13] 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
- [14] 王新明, 王长耀, 牛铮. 应用 R/S 方法分析 NDVI 时间序列[J]. *地理与地理信息科学*, 2005, 21(5): 20—23
- [15] AKUBAUSKAS M E, LEGATES D R, KASTENS J H, et al. Harmonic analysis of time series AVHRR NDVI data[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2001, 67(4): 461—470
- [16] 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*, 2003, 33(6): 554—565
- [17] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294—302
- [18] BEATRIZ Martínez, MARÍA Amparo Gilabert. Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009(113): 1823—1842.
- [19] EASTMAN J R, FILK M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1993, 59(8): 1307—1312
- [20] 王坚, 张继贤, 刘正军, 等. 基于 NDVI 序列影像精化结果的植被覆盖变化研究[J]. *测绘科学*, 2005, 30(6): 43—44
- [21] 许学工, 彭慧芳, 徐勤政. 海岸带快速城市化的土地资源冲突与协调[J]. *北京大学学报*, 2006, 42(4): 527—533
- [22] 张安定, 李德一, 王大鹏, 等. 山东半岛北部海岸带土地利用变化与驱动力——以龙口市为例[J]. *经济地理*, 2007, 27(6): 1007—1010
- [23] 韩秀珍, 李三妹, 罗敬宁, 等. 近 20 年中国植被时空变化研究[J]. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 753—759
- [24] HOLLIGAN P M, DEBOOIS H. LOICZ science plan[R]. IGBP Report No 25 Sweden: IGBP, 1993
- [25] YUE S, PILON P, CAVADIAS G. Power of the Mann Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series[J]. *Journal of Hydrology*, 2002 (259): 254—271.
- [26] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. *水科学进展*, 2007, 18(2): 230—234

- [27] 徐宗学, 张玲, 阮本清. 北京地区降水量时空分布规律分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 186—192
- [28] JUSTICE C O, TOWNSHEND J R G, HOLBEN B N, et al. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1985, 6: 1271—1318
- [29] 王宏, 李晓兵, 李霞, 等. 基于 NOAA NDVI 和 MSAVI 研究中国北方植被生长季变化[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 504—515.
- [30] 王澄海, 惠小英. 以植被指数 0.12 为指标看我国的荒漠化与草原界限的变化[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 88—92
- [31] 何章莉, 史合印, 邢前国, 等. 遥感技术在大亚湾区域土地利用类型监测中的应用[J]. 生态科学, 2006, 25(4): 371—374
- [32] DANA F Morawitz, TINAM Blewett, ALEX Cohen, et al. Using NDVI to assess vegetative land cover change in central puget sound [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2006, 114: 85—106

The analysis of NDVI trends in the coastal zone based on Mann-Kendall test: a case in the Jiaodong Peninsula

LIU Ya-long¹, WANG Qing¹, BI Jing-zhi¹, ZHANG Ming-ming¹, XING Qian-guo², SHI Ping²

(¹ Coast Institute, Ludong University, Yantai 264025, China; ² Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract: On the basis of 372 images of Spot/Vegetation from 1998 to 2008, the Mann-Kendall non-parametric trend test method was used to analyze the normalized difference vegetation index (NDVI) trends on the Jiaodong Peninsula. During past decade, the areas with decreasing NDVI trends dominated the Jiaodong Peninsula. About 19.3% of the whole area exhibited significant declining trends in the NDVI, and merely 2.8% of areas showed increasing trends. The areas with decreasing trends distributed annularly along the coastline. The increasing trends gradually became more prominent from the coastline to the inner land. Most regions which manifested distinct weakening trends were mainly located within a distance of 30 km apart from the coastline. The regions showing obvious improvement were located in the central peninsula and the coastal forest shelterbelt areas. Human activity and its spatial distribution were the main causes of NDVI changes. Urbanization, industrialization and exploitation of the coastal wetlands resulted in the decaying of NDVI. Protection of the mountain vegetation and the construction of the coastal forest shelterbelt promoted the increasing of NDVI.

Key words: NDVI; time series; Mann-Kendall test; coastal zone