

一次灰霾天气下的珠江三角洲 NDVI 反演

王德辉^{1,2*} 匡耀求² 吴波^{3*} 周慧杰⁴ 王萌²

(1. 广州中海达卫星导航技术股份有限公司, 广东 广州 511400; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;
3. 赣南师范学院, 江西 赣州 341000; 4. 广西师范学院, 广西 南宁 530001)

摘要: 随着近年来灰霾天气影响区域和爆发频次的增多, 灰霾已经严重影响到了卫星遥感对归一化植被指数(NDVI)的反演精度。现有针对气溶胶污染天气下的 NDVI 反演方法不适合非浓密植被地区和高气溶胶污染负载天气等情形。本文选取了珠江三角洲一次灰霾事件爆发前和爆发中的连续两天的 MODIS(Terra)数据, 构建了分区去气溶胶植被指数(ZAFRI Zonal Aerosol Free Vegetation Index), 用以反演“污染日”的植被指数。结果显示本方法可较好地消除大气气溶胶对 NDVI 的影响, ZAFRI 比直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI 精度更高, 可以作为灰霾“污染日”的 NDVI 替代指标。本方法将去气溶胶植被指数(AFRI)推广至珠江三角洲陆表各类区域上, 为同类灰霾污染区域的 NDVI 反演提供一个新的可行途径。

关键词: 归一化植被指数; 去气溶胶植被指数; 灰霾; MODIS; 珠江三角洲

1 引言

Rouse^[1]等在1974年提出了归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index)。尽管之后的40年里又有众多的植被指数提出来^[2-8], NDVI 仍然是应用最为广泛的植被指数。NDVI 被用在监测植被生长状态与变化^[9-14]、植被生物量估算与农作物估产^[15-17]、土地退化^[18]、植被区与农作区制图^[19, 20]、植被覆盖度^[21, 22]、区域生态系统碳汇量核算^[23]、人居环境适宜性评价^[24]等众多领域。

MODIS 是搭载在 Terra 和 Aqua 卫星上具有 250 m、500 m 和 1000 m 空间分辨率, 36 个光谱通道的中等分辨率成像光谱仪, 通过 X 波段向全世界直接广播, 可供全球各国免费接收数据并无偿使用。自 1999 年 12 月 18 日 EOS Terra 卫星成功发射以来, 目前已经获得了 15 年的全球监测数据, 由于其高时间分辨率、较高的空间分辨率和宽幅成像等优点, 已经在地表植被遥感监测上得到了广泛的应用。

NDVI 反演的一个关键就是大气消光的影响, 有研究揭示大气气溶胶对植被的 NDVI 有很大的影响, 当气溶胶光学厚度达到 2, NDVI 从 0.7 降到 0.3 左右^[25]。Karnieli 等^[26]专门针对气溶胶污染背景下的归一化植被指数的反演, 提出了去气溶胶植被指数(Aerosol Free Vegetation Index, 简称 AFRI), 但其实用范围仍然局限在浓密植被区, 不能满足非浓密植被区的气溶胶污染背景下的 NDVI 反演需求。

珠江三角洲是中国的大气气溶胶污染较重的区域之一, 最近 15 年来记录了大量的灰霾天气遥感数据, 需要寻求专门针对灰霾天气背景下的地表 NDVI 的高精度反演方法, 以满足区域地表植被信息监测的需求。本文在去气溶胶植被指数方法的基础上, 构建了分区去气溶胶植被指数(Zonal Aerosol Free Vegetation Index), 用以得到气溶胶“污染日”的 NDVI 替代指标。本文选取了珠江三角洲一次灰霾事件爆发当天和头一天的 MODIS 数据, 结合珠江三角洲地表生态系统空间分异的实际情况, 在“清洁日”珠江三角洲四类生态系统区域内分别建立红光和短波红外波段的地表反射率的关系, 进而构建分区去气溶胶植被指数(Zonal Aerosol Free Vegetation Index), 用以反演气溶胶“污染日”的 NDVI 替代指标。本方法将去气溶胶植被指数(AFRI)推广至珠江三角洲陆表各类区域, 为珠江三角洲以及亚热带和热带三角洲区域的气溶胶污染区 NDVI 反演提供一个新的可行途径, 可提高卫星遥感对较重气溶胶背景下 NDVI 的监测能力。

2 研究区概况

珠江三角洲位于 111°59'46"E ~ 115°24'49"E, 21°34'02"N ~ 23°56'12"N, 北回归线横穿该区, 东、西、北三面环山, 南面临南海, 东江、西江、北江等河流共同塑造了中央的三角洲冲积平原, 是典型的亚热带季风气候区。全区包括广州、深圳、佛山、东莞、中山、珠海、惠州、江门、肇庆 9 个地级城市, 区域南部临接香港特别行政区和澳门特别行

* 收稿日期: 2015-03-09

作者简介: 王德辉(1977—), 男, 博士, 在站博士后, 主要研究方向环境与区域可持续发展。

通讯作者: 吴波(1979—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为环境遥感。

基金项目: 广州市博士后基金项目(125124); 江西省科技厅自然科学基金项目(20142BAB213027)

政区。作为中国改革开放的前沿区域,珠江三角洲是中国经济最发达、最具活力的中心区域之一。三面环山的地形加之海陆气流的交汇,使得三角洲平原区排放的大量大气污染物频繁汇集在珠江三角洲的上空,使得全区成为中国气溶胶污染最为严重的区域之一。

Terra 卫星的 MODIS 传感器在 2007 年的 11 月 30 日和 12 月 1 日记录了珠江三角洲一次灰霾事件爆发前和爆发时的遥感影像(如图 1 所示)。11 月 30 日的 MODIS 真彩色合成影像图上显示除了一处火点形成的浓烟遮挡带外,珠江三角洲其余地区的地表信息清晰可见。

12 月 1 日的 MODIS 真彩色合成影像图显示了珠江三角洲的大气中分布了“浓厚”的灰霾气溶胶,其在可见光波段遮挡了地表信息。为了描述方便,下文将 2007 年的 11 月 30 日称为“清洁日”,2007 年 12 月 1 日称为“污染日”。“清洁日”陆地反射率产品计算的 NDVI 可以作为“污染日”分布状况下的参考标准。为了专门探讨灰霾下的 NDVI 反演问题,本研究选取了图 1 中框区域(112°37'45.723216"E ~ 114°21'35.059968"E, 22°36'53.335116"N ~ 23°48'38.848032"N)作为灰霾下 NDVI 反演的研究区域,以避免浓烟和云的影响。

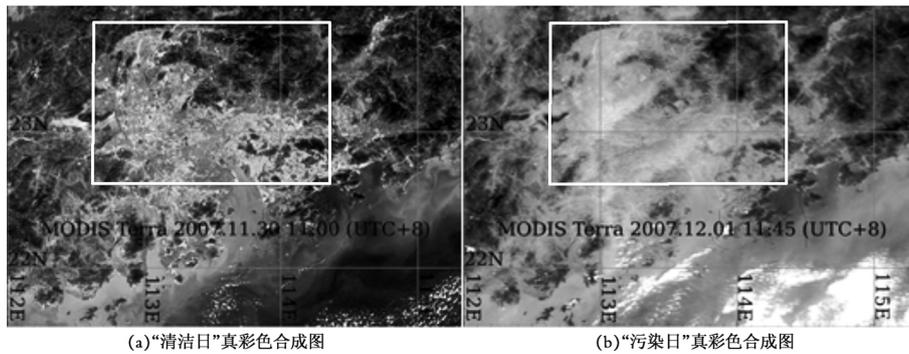


图 1 研究区的典型性 MODIS 影像

3 数据与方法

3.1 数据和预处理

从 <https://mrtweb.cr.usgs.gov/> 网站下载了珠江三角洲 2007 年 11 月 30 日和 12 月 1 日 Terra MODIS 500 m 地表反射率产品(MOD09GA)的第 1 波段(中心波长为 0.65 μm 的红光波段)、第 2 波段(中心波长为

0.86 μm 的近红外波段)和第 7 波段(中心波长为 2.1 μm 的短波红外波段)数据。为了剔除 500 m 空间尺度下的水体信息,对“清洁日”的 2007 年 11 月 30 日的 NDVI 仅保留大于 0.10 的值,如图 2(a)所示,并把扣除水体的研究区作为约束整个研究陆地表面植被指数计算的公共掩膜区。

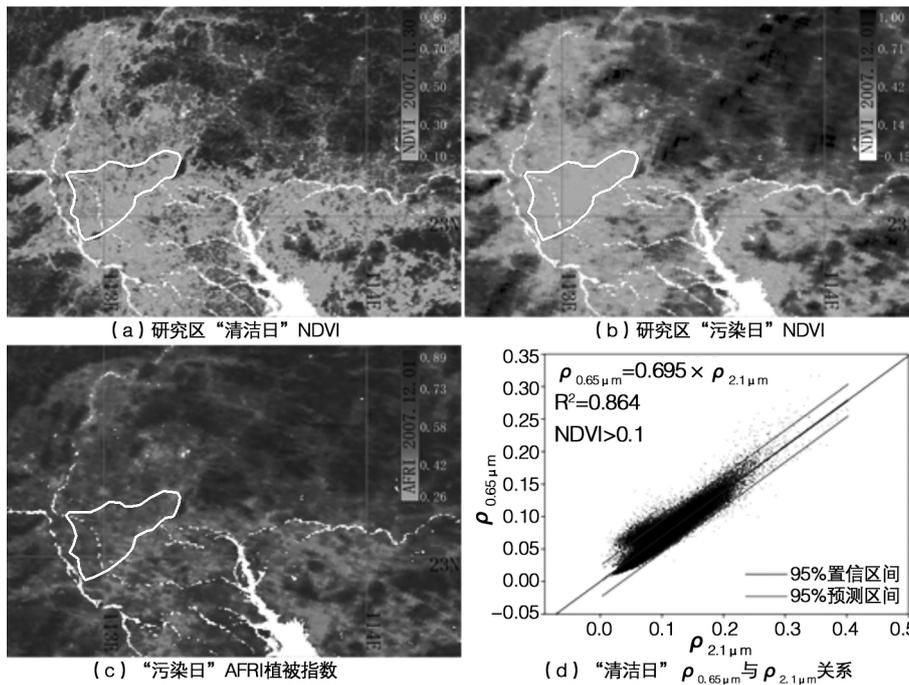


图 2 研究区内 NDVI 和 AFRI 植被指数

3.2 现有 NDVI 反演的可用性

(1) 归一化植被指数

归一化植被指数 (NDVI) 是依据红光和近红外波段的反射率建立的通用植被指数^[1], 公式为,

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

(NDVI: 归一化植被指数 ρ_{nir} : 近红外波段反射率, ρ_{red} : 红光波段反射率)

图 2(a) 和图 2(b) 是依据美国 NASA 发布的 Terra MODIS 传感器 500 m 地表反射率产品计算得到的“清洁日”和“污染日”的 NDVI 数据图。由于是同一颗卫星传感器连续两天的数据, 地表植被变化可忽略, 因而, 这里将“清洁日”的 NDVI 作为检验“污染日”NDVI 反演的参考标准。

图 2(b) 清晰显示珠江三角洲在“气溶胶污染日”(2007 年 12 月 1 日) 的 NDVI 出现了较为明显的失真。一方面, 表现为三角洲平原区的 NDVI 降低(图上表现为绿色区域显著减少), 尤其在污染最重区域(图 1(d) 中红色多边形区域) 降低得最为显著; 另一方面, 表现为 NDVI 高值的增高, 出现了大于 1 的区域(图 2(b) 中黑色的区域, 经过人为强制赋值为 1)。这说明, MODIS 的业务算法在浓重灰霾天气下的 NDVI 反演误差较大。

(2) 去气溶胶污染植被指数

去气溶胶污染植被指数 (Aerosol Free Vegetation Index, 简称 AFRI) 是 Karnieli 等(2001) 根据晴空天气下中心波长 1.6 μm 和 2.1 μm 的短波红外波段反射率

与红光(中心波长 0.645 μm) 反射率显著相关($\rho_{0.645\mu\text{m}} = 0.5 \times \rho_{2.1\mu\text{m}} - 0.66 \times \rho_{1.6\mu\text{m}}$) 关系, 提出的专门针对晴空气溶胶污染天气下的浓密植被区设计的植被指数。其中 2.1 μm 的 AFRI^[26] 公式为,

$$AFRI_{2.1\mu\text{m}} = \frac{\rho_{0.86\mu\text{m}} - 0.5 \times \rho_{2.1\mu\text{m}}}{\rho_{0.86\mu\text{m}} + 0.5 \times \rho_{2.1\mu\text{m}}} \quad (2)$$

从 AFRI 的公式中可以看出, 它的本质是 NDVI, 只是根据浓密植被区红光与短波红外波段存在的线性关系, 利用短波红外反射率基本不受大气气溶胶影响的特性, 反演同期的红光波段地表反射率, 进而利用近红外和反演到的红光波段, 计算气溶胶污染植被区的 NDVI。这种红光波段地表反射率的反演方法又被称为“暗目标”法, 是 MODIS 气溶胶光学厚度业务算法的基础。

对整个研究区采用 AFRI 算法, 计算出“污染日”的归一化植被指数如图 2(c) 所示, 其最高值与“清洁日”的 NDVI 相同, 均是 0.89, 而最低值为 0.26, 明显高于“清洁日”的最低值 0.10, 三角洲平原区的绿度明显增大。图 2(c) 说明针对浓密植被地区的 AFRI 算法, 并不适合于多种生态系统并存的珠江三角洲 NDVI 反演。虽然珠江三角洲不都是浓密森林区, 但是研究区域陆地“清洁日”的 $\rho_{0.65\mu\text{m}}$ 与 $\rho_{2.1\mu\text{m}}$ 也呈现了较好的线性相关性, 其红光和短波红外波段的线性方程为 $\rho_{0.65\mu\text{m}} = 0.695 \times \rho_{2.1\mu\text{m}}$, R^2 为 0.864, $P < 0.0001$, 如图 2(d) 所示。这种线性相关性的存在说明珠江三角洲 NDVI 反演有利用红光和短波红外波段的关系的基础, 但要达到比较好的精度, 这种相关关系需要在不同生态系统区域上进行进一步细化。

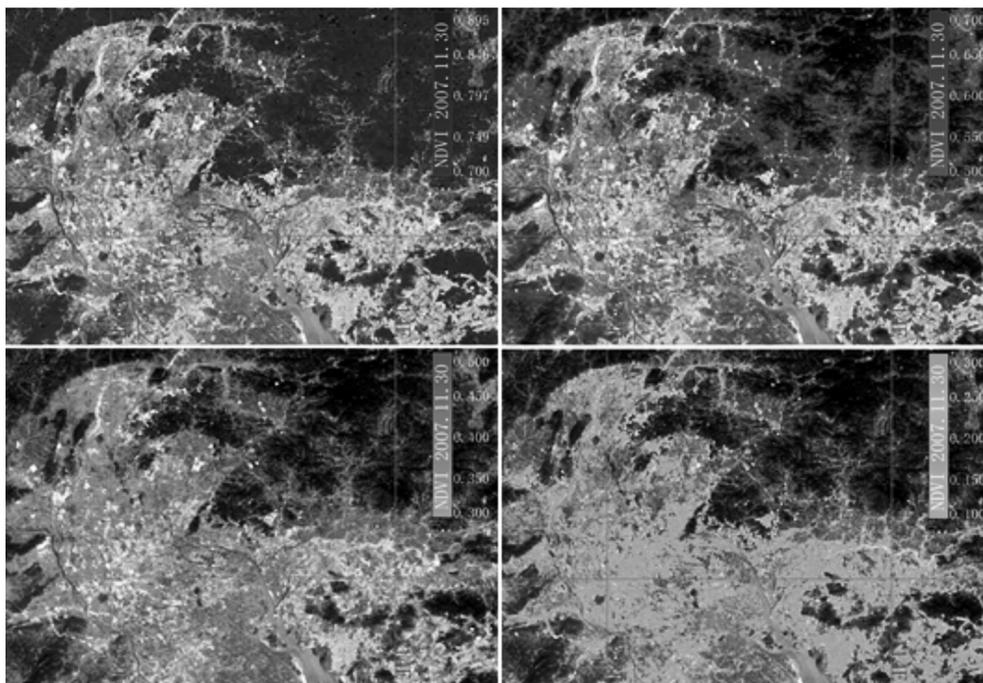


图 3 基于 NDVI 的研究区生态系统分区

(3) NDVI 的生态系统分区

研究区中间为三角洲平原,东、西、北三侧环山。根据人类开发利用方式的不同,平原区有农田生态系统和城市生态系统的差异,外围的山地区有浓密的森林生态系统、森林和农田复合生态系统的分别。根据珠江三角洲这种生态系统的空间分异性,对 NDVI 进行密度分割,得到了对应这四类生态系统主导区的 NDVI 阈值,依次为①NDVI>0.7,为山地森林生态系统主导区;②0.5<NDVI≤0.7,为山地农林复合生态系统主导区;③0.3<NDVI≤0.5,为三角洲平原农田生态系统主导区;④0.1<NDVI≤0.3,为三角洲平原城市生态系统区。

(4) 分区去气溶胶植被指数(ZAFRI)

根据本次“清洁日”珠江三角洲的 $\rho_{0.65\mu m}$ 与的 $\rho_{2.1\mu m}$ 线性相关性和基于 NDVI 的四类生态系统分区,用于四类生态系统的去气溶胶污染植被指数构建分区去气溶胶植被指数(Zonal Aerosol Free Vegetation Index, 简称 ZAFRI) 作为本次“污染日”陆地 NDVI 替代指标。ZAFRI 的定性模型为,

$$ZAFRI = AFRI_{forest-ecosystem} + AFRI_{agro-forest-ecosystem} + AFRI_{agro-ecosystem} + AFRI_{urban-ecosystem} \quad (3)$$

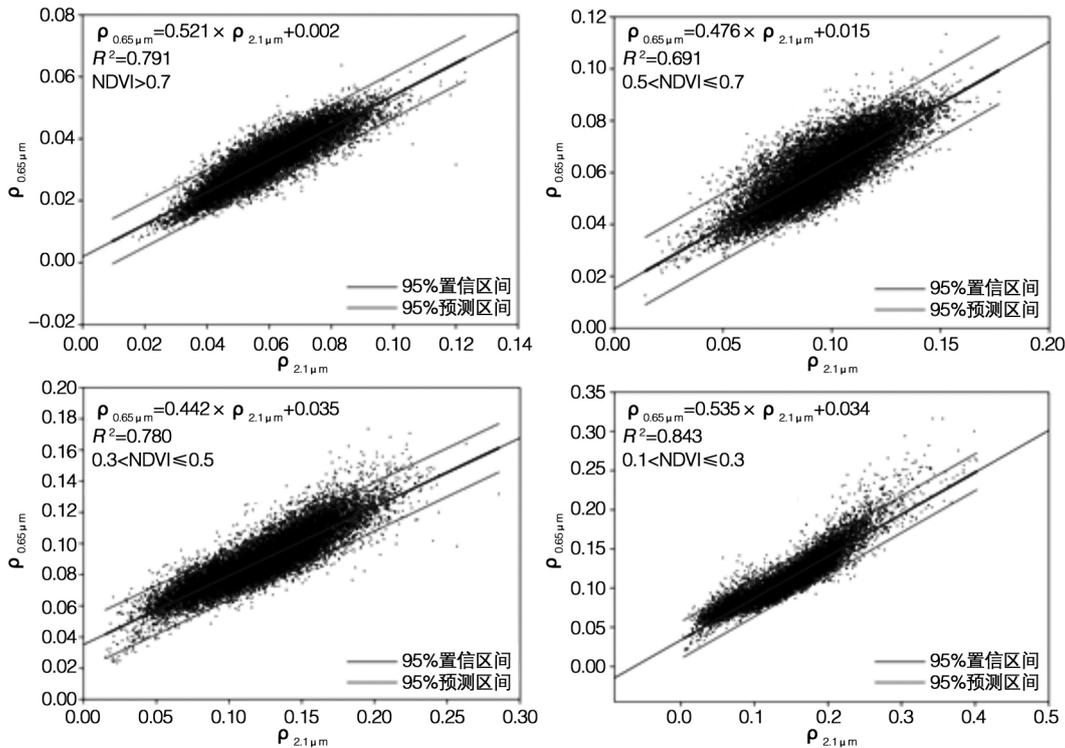


图4 “清洁日”四类 NDVI 区的 $\rho_{0.65\mu m}$ 与 $\rho_{2.1\mu m}$ 线性相关关系

其中,“清洁日”珠江三角洲山地森林生态系统区 $\rho_{0.65\mu m}$ 与 $\rho_{2.1\mu m}$ 线性方程的斜率 $a = 0.521$, 截距 $b = 0.002$ 决定系数 $R^2 = 0.791$ $P < 0.0001$; 山地农林复

针对每个生态区域的 $\rho_{0.65\mu m}$ 与 $\rho_{2.1\mu m}$ 的线性关系,并结合上面珠江三角洲四类生态系统的 NDVI 分区,将“污染日”的 ZAFRI 具体化表达为,

$$ZAFRI = AFRI_{NDVI>0.7} + AFRI_{0.5<NDVI\leq 0.7} + AFRI_{0.3<NDVI\leq 0.5} + AFRI_{0.1<NDVI\leq 0.3} \quad (4)$$

$$AFRI = \frac{\rho_{0.86\mu m} - (a \times \rho_{2.1\mu m} + b)}{\rho_{0.86\mu m} + (a \times \rho_{2.1\mu m} + b)} \quad (5)$$

(ZAFRI 为整个研究区陆地生态系统的去气溶胶植被指数,AFRI 为针对研究区内部各生态系统区的去气溶胶植被指数, $\rho_{0.86\mu m}$ 与 $\rho_{2.1\mu m}$ 为“污染日”NASA 近红外波段和短波红外波段 500 m 分辨的地表反射率产品 a 和 b 分别为“清洁日”不同 NDVI 区域的 $\rho_{0.65\mu m}$ 与 $\rho_{2.1\mu m}$ 的线性方程的斜率和截距。)

4 结果与分析

4.1 四类生态系统区的 $\rho_{0.65\mu m}$ 与 $\rho_{2.1\mu m}$ 关系

对“清洁日”的四类生态系统主导区的红光波段地表反射率($\rho_{0.65\mu m}$)和短波红外波段地表反射率 $\rho_{2.1\mu m}$ 分别进行线性回归,得到这四类生态系统区的 $\rho_{0.65\mu m}$ 与 $\rho_{2.1\mu m}$ 线性关系,如图4所示。

合生态系统主导区 $a = 0.476$ $b = 0.015$ $R^2 = 0.691$ $P < 0.0001$; 三角洲平原农田生态系统主导区 $a = 0.442$ $b = 0.035$ $R^2 = 0.780$ $P < 0.0001$; 三角洲平原城市生态

系统主导区 $a = 0.535, b = 0.034, R^2 = 0.843, P < 0.0001$ 。可见,“清洁日”的四类生态系统主导区在红光和短波红外波段均具有显著的线性相关性, a 和 b 值可以用于各区域去气溶胶植被指数模型。

4.2 污染日的 ZAFRI 及其与 NDVI 和 AFRI 比较

将四类生态系统区求得的 a 和 b 值,代入式(4)、式(5)中,求得研究区“污染日”的分区去气溶胶植被指数 ZAFRI(图 5(a))。

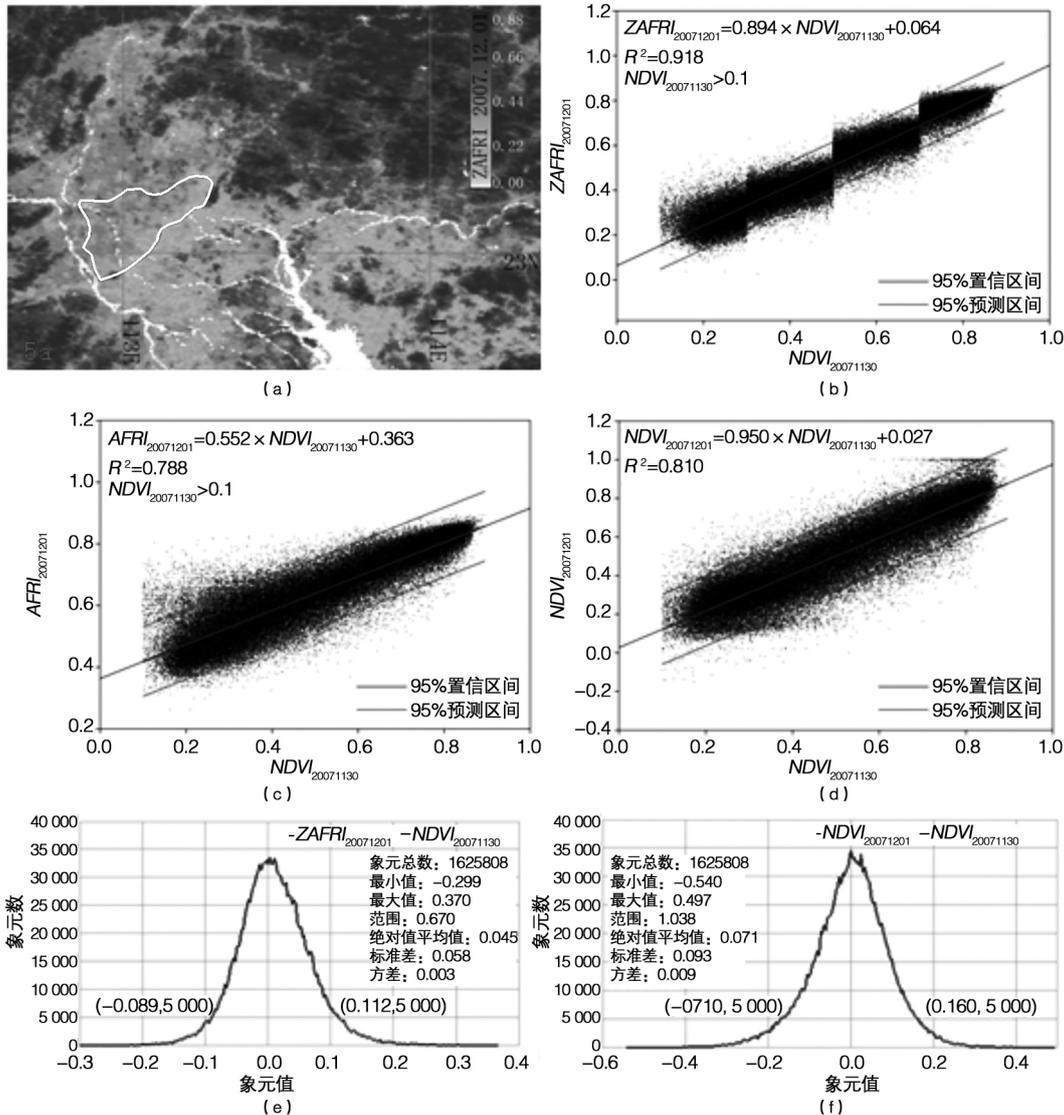


图 5 “污染日”ZAFRI 结果及其与已有结果比较

从植被指数的空间分布看,“污染日”的 ZAFRI 的空间分布(图 5(a))相比直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI(图 2(b))和 AFRI(图 2(c))更接近“清洁日”的 NDVI(图 2(a))分布情况。这 4 个植被指数采用了数值统一的图例色标,相同的数值具有相同的颜色。“污染日”ZAFRI 最大值为 0.88,接近“清洁日”NDVI 最大值 0.89,避免了图 2(b)中 NDVI 最大值过高(图中黑色区域)的不足。污染日的 ZAFRI 不论在山地区还是在三角洲平原区都比 NASA 反射率产品计算的 NDVI(图 2(b))和 AFRI(图 2(c))更接近“清洁日”的 NDVI(图 2(a)),尤其在平原区,避免了图 2b 的

NDVI 值的低估和图 2c 植被指数的高估,灰霾最重的红色多边形区域的 NDVI 失真得到了较明显的改善。污染日 ZAFRI 的最低值为 0.0,低于清洁日的 NDVI 最低值 0.10,集中出现在建筑物密集的广州市中心城区(图 3(a)中颜色呈紫色的区域),说明目前的线性反射率模型在高密度城市表面效果不理想。

从与“清洁日”植被指数的线性回归看,本方法“污染日”的 ZAFRI 与“清洁日”的 NDVI 线性回归的斜率为 0.894,介于 AFRI(0.788)和直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI(0.959)之间,决定系数为 0.918,是三者中最高的。“污染日”的 ZAFRI 与“清洁日”的

NDVI 呈现了显著的线性相关性。ZAFRI 与“清洁日”的 NDVI 的散点图,呈现了明显的四块区域,块区的分界处,恰是四个生态系统分区的 NDVI 界限,这说明,这种现象主要是受到了分区拟合反射率模型的影响。

从反演误差看,“污染日”的 ZAFRI 的误差(图 5(e))要小于直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI(图 5(f))。将“污染日”的 ZAFRI 和直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI 分别与“清洁日”的 NDVI 做减法运算,得到两个植被指数的误差。从两者误差统计直方图可以看出,99.7% 的象元的 ZAFRI 误差绝对值小于 0.112,比 NASA 反射率计算的 NDVI 的误差绝对值(0.170)降低了 0.058。ZAFRI 的误差最小值(-0.299)、最大值(0.370)、误差变化幅度(0.670)、绝对值平均值(0.045)、标准差(0.058)、方差(0.003)等统计量均比直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI 的误差最小值(-0.540)、最大值(0.497)、误差变化幅度(1.038)、绝对值平均值(0.071)、标准差(0.093)、方差(0.009)要优。误差的统计比较表明改进的气溶胶“污染日”ZAFRI 比直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI 的误差更小,基于象元的误差绝对值的平均值控制在 0.05 以下。

5 结论

针对珠江三角洲 2007 年的 11 月 30 日和 12 月 1 日一对“清洁日”和“污染日”的 MODIS(Terra) 遥感影像的红光波段反射率($\rho_{0.65\mu\text{m}}$)与短波红外波段反射率($\rho_{2.1\mu\text{m}}$)间的关系反演“污染日”的归一化植被指数得出如下几点结论。

(1) 2007 年的 11 月 30 日的珠江三角洲和按照 NDVI 划分的四类生态系统区域(山地森林生态系统主导区、山地农林复合生态系统主导区、三角洲平原农田生态系统主导区和三角洲平原城市生态系统主导区)在 MODIS 红光波段反射率($\rho_{0.65\mu\text{m}}$)与短波红外波段反射率($\rho_{2.1\mu\text{m}}$)间均存在显著的线性关系。

(2) 将“清洁日”得到的红光和短波红外波段反射率关系构建“污染日”各区的去气溶胶植被指数(AFRI),最后汇总形成的分区去气溶胶植被指数(ZAFRI)可以较好地降低大气气溶胶对 NDVI 的影响,结果比直接用 NASA 反射率产品计算的 NDVI 精度更高,ZAFRI 可以作为灰霾“污染日”的 NDVI 替代指标。

(3) 分区去气溶胶植被指数(ZAFRI)将去气溶胶植被指数(AFRI)的适用范围从浓密植被区拓展至珠江三角洲山地森林生态系统、山地农林复合生态系统、

三角洲平原农田生态系统和三角洲平原城市生态系统四类生态系统区域,使去气溶胶植被指数(AFRI)适合于浓密与非浓密植被区并存的地表环境。

(4) 分区去气溶胶植被指数(ZAFRI)对于反演亚热带灰霾天气下的 NDVI 提供了一种可行的思路,不过仍然存在两点明显不足。一是,目前该方法基于红光和短波红外波段反射率的关系仅是根据一期灰霾污染天气数据建立的,由于植被生长的季节性,其他季节的关系系数可能会有所差异,公式中的四组 a、b 值需要针对不同时间段进行求算,本次案例中的具体系数不一定能作为通用方程系统进行推广。二是,在植被分布稀疏的珠江三角洲平原区采用的线性回归造方程,虽然 ZAFRI 可以较好替代灰霾天气下的 NDVI,但是在建筑物密度高的广州中心城区,由于线性关系不好,造成了 ZAFRI 的值低于“清洁日”下的 NDVI。要得到更高精度的 ZAFRI 则需要对红光和短波红外波段反射率的关系模型进行进一步深入研究,如探索非线性模型。

参考文献

- [1] Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS[J]. Proceedings, NASA special publication, 1974, 351: 309.
- [2] Richardson A. J. and C. L. Wiegand. Distinguishing vegetation from soil background information[J]. Remote Sensing of Environment, 1977, 43(12): 307~312.
- [3] Hardisky M. A., Klemas V. and M. Smart. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of Spartina Alterniflora canopies[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1983, 49: 77~83.
- [4] Kaufman Y. J. and D. Tanre. Atmospherically resistant vegetation index(ARVI) for EOS-MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2): 261~270.
- [5] Huete A. R. and H. Q. Liu. An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32(4): 897~905.
- [6] Huete A. R., Liu H. Q., Batchily K. et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 59(3): 440~451.
- [7] Gupta R. K., Vijayan D. and T. S. Prasad. New hyperspectral vegetation characterization parameters[J]. Advances in Space Research 2001, 28(1): 201~206.
- [8] Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Stark R. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. Re-

- Remote Sensing of Environment 2002 80(1):76~87.
- [9] Zha Y., Gao J. and S. Ni. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003 24(3):583~594.
- [10] Li Z., et al. Monitoring and modeling spatial and temporal patterns of grassland dynamics using time-series MODIS NDVI with climate and stocking data [J]. Remote Sensing of Environment 2013 138(0):232~244.
- [11] Son N. T., et al. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2012 18(0):417~427.
- [12] Aguilar C., et al. NDVI as an indicator for changes in water availability to woody vegetation [J]. Ecological Indicators 2012 23(0):290~300.
- [13] 宋富强, 邢开雄, 刘阳, 等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价 [J]. 生态学报, 2011 31(2):354~363.
- [14] 陈燕丽, 龙步菊, 潘学标, 等. MODIS NDVI 和 AVHRR NDVI 对草原植被变化监测差异 [J]. 遥感学报, 2011, 15(4):831~845.
- [15] Son N. T., Chen C. F., Chen C. R., et al. A comparative analysis of multitemporal MODIS EVI and NDVI data for large-scale rice yield estimation [J]. Agricultural and Forest Meteorology 2014 197(0):52~64.
- [16] Fu X., Tang C., Zhang X., et al. An improved indicator of simulated grassland production based on MODIS NDVI and GPP data: A case study in the Sichuan province, China [J]. Ecological Indicators 2014 40(0):102~108.
- [17] Ma H., Huang J., Zhu D., et al. Estimating regional winter wheat yield by assimilation of time series of HJ-1 CCD NDVI into WOFOST - ACRM model with Ensemble Kalman Filter [J]. Mathematical and Computer Modelling 2013 58(3):759~770.
- [18] Eckert S., Hüsler F., Liniger H., et al. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia [J]. Journal of Arid Environments 2015 113(0):16~28.
- [19] Pervez S., Budde M. J., Rowland. Mapping irrigated areas in Afghanistan over the past decade using MODIS NDVI [J]. Remote Sensing of Environment 2014 149(0):155~165.
- [20] Li Z. J. M. Fox. Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS 250 m NDVI and statistical data [J]. Applied Geography 2012 32(2):420~432.
- [21] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001 年~2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征 [J]. ACTA GEOGRAPHICA SINICA 2012 67(9).
- [22] 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.
- [23] 王让会, 衣怀峰, 宁虎森, 等. 基于 NDVI 的人工植被碳储量估算 [J]. 遥感技术与应用 2011 26(4):399~404.
- [24] 王德辉, 匡耀求, 黄宁生, 等. 基于人居环境适宜性的广州市人口承载力研究 [J]. 中国人口. 资源与环境 2010, 20(专刊):23~26.
- [25] 王中挺, 陈良富, 巩慧, 等. CBERS02B 卫星 CCD 传感器数据反演陆地气溶胶 [J]. 遥感学报 2009(6):1047~1059.
- [26] Karnieli A., Kaufman Y. J., Remer L., et al. AFRI—Aerosol free vegetation index [J]. Remote Sensing of Environment 2001 77(1):10~21.

The NDVI Inversion in Pearl River Delta in a haze Weather Incident

Wang Dehui^{1,2}, Kuang Yaoqiu², Wu Bo³, Zhou Huijie⁴, Wang Meng²

(1. Hi-Target Surveying Instrument Co., Ltd, Guangzhou 511400, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, China;

3. Gannan Normal University, Ganzhou 341000, China;

4. Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China)

Abstract: Haze has a strong impact on the precision of NDVI inversion by satellite remote sensing, with more regions being hit by haze more frequently in recent years. The inadequacy of existing inversion methods of NDVI in aerosol contamination weather is obvious in the case of non-dense vegetation and heavy load of aerosol contamination. This paper selects the MODIS (Terra) data for two successive days before and during the outbreak of a haze incident, establishing the Zonal Aerosol Free Vegetation Index to achieve the inversion of the NDVI in polluted days. The results show that this method can eliminate aerosol effects to NDVI better, and ZAFRI method has better precision than the NDVI directly calculated by NASA reflectivity products, and it can serve as a surrogate marker of NDVI in haze polluted days. This method generalizes the AFRI to all kinds of land surface regions, providing a new feasible method for the NDVI inversion in the same kinds of regions polluted by haze.

Key words: NDVI; AFRI; Haze; MODIS; Pearl River Delta