

邓玉娇,胡猛,林楚勇,等. 2016. 基于 FY3A/MERSI 资料分析广东省气溶胶光学厚度分布. 气象, 42(1):61-66.

基于 FY3A/MERSI 资料分析广东省 气溶胶光学厚度分布^{* 1}

邓玉娇¹ 胡 猛¹ 林楚勇² 曹 静³

1 广东省生态气象中心, 广州 510640

2 华南农业大学信息学院, 广州 510640

3 广州气象卫星地面站, 广州 510640

提 要: 利用国产极轨气象卫星 FY3A 的 MERSI AOD 产品分析 2010—2013 年广东省气溶胶光学厚度的分布规律。结果表明: MERSI AOD 产品与地面太阳光度计实测数据的相关系数为 0.72, 其平均绝对值误差为 0.12, 均方根误差为 0.15, 数据精度可满足研究需要; 从 AOD 的空间分布看, 珠三角>西翼>东翼>山区五市, 其中佛山市、东莞市、中山市为广东省 AOD 均值最高的地区, 梅州市、河源市为广东省 AOD 均值最低的地区; 从 AOD 的时间分布看, 2010—2013 年间, AOD 呈现先升高后降低的趋势, 2011 年为拐点, 与此同时, AOD 还表现出明显的季节变化特征, 春季为 AOD 高值期, 夏季、秋季次之, 冬季最低。

关键词: FY3A/MERSI, 气溶胶, 光学厚度

中图分类号: P402

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.01.007

Analysis of Aerosol Optical Depth in Guangdong Based on FY3A/MERSI Data

DENG Yujiao¹ HU Meng¹ LIN Chuyong² CAO Jing³

1 Guangdong Ecological Meteorology Centre, Guangzhou 510640

2 College of Information, South China Agricultural University, Guangzhou 510640

3 Guangzhou Meteorological Satellite Station, Guangzhou 510640

Abstract: The aerosol optical thickness (AOD) in Guangdong Province from 2010 to 2013 was discussed based on the MERSI AOD products of Chinese Polar Orbiting Meteorological Satellite FY3A. It is found that the correlation coefficient between the MERSI AOD products and the ground-based sun photometer measured AOD data is 0.72. The mean absolute error and the root mean square error of the MERSI AOD are 0.12 and 0.15 respectively. So the MERSI AOD data meet the accuracy requirements of the paper. Spatially, a decreasing trend is found in order by Pearl River Delta Region, western region, eastern region and mountainous region. Among them, the mean AOD values are highest in Foshan City, Dongguan City and Zhongshan City, and lowest in Meizhou City and Heyuan City. Temporally, the AOD increases from 2010 to 2011 and then decreases from 2011 to 2013. What's more, spring has the highest seasonal mean AOD, followed in order by summer, autumn and winter.

Key words: FY3A/MERSI, aerosol, optical depth

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306042)和广东省气象局科学技术研究项目(2011A04、2014B08)共同资助
2014 年 12 月 01 日收稿; 2015 年 7 月 13 日收修定稿
第一作者: 邓玉娇, 主要从事卫星遥感应用研究. Email: yujiao_d@163.com

引 言

大气气溶胶是指悬浮在空气中直径在几纳米到几十微米之间的微小粒子,作为地球-大气系统的重要组成部分,它以直接辐射强迫和间接辐射强迫的方式影响着气候环境(李成才等,2005b;董自鹏等,2013)。由于气溶胶在大气中的形成和传输过程极其复杂,且具有寿命短、来源广泛、性质多变的特征,任何单一的研究手段都很难完全揭示其时空变化规律。卫星遥感数据实时、动态、覆盖面广,可弥补地面监测站点难以反映区域内气溶胶空间分布和变化趋势的不足,因此卫星遥感技术在气溶胶的研究中得到了广泛应用(张兴赢等,2007;郑卓云等,2011)。

国际上气溶胶的卫星遥感理论始于 20 世纪 70 年代。Carlson 等(1977)利用 NOAA/AVHRR 传感器的 $0.63\ \mu\text{m}$ 通道进行海洋上空气溶胶光学厚度(Aerosol Optical Depth, AOD)研究。Gordon(1978)在利用 NOAA/AVHRR 数据生成海洋水色遥感产品时,考虑到了气溶胶的影响。Kaufman 等(1988)提出了稠密植被上空气溶胶光学厚度反演的暗像元法,该方法至今仍是遥感陆地上空气溶胶光学厚度时应用最广泛的算法。1991 年,美国国家宇航局(NASA)正式启动地球观测系统(EOS)计划,并分别于 1999 和 2002 年相继成功发射了下午星 Terra、上午星 Aqua,其上携带的中分辨率成像光谱仪(MODIS)为研究气溶胶光学特性提供了有效的遥感数据(刘玉洁等,2001)。Chu 等(2003)利用 NASA 发布的 Level 2 气溶胶光学厚度产品,探讨了 MODIS 资料在监测全球、区域和局地大气污染中的应用,证实了其显著的应用价值。Levy 等(2007)和 Remer 等(2005)在 Kaufman 提出的暗像元算法基础上开发了 NASA 的 C5.2 气溶胶反演算法,并基于此实现了基于 MODIS 资料的气溶胶光学厚度的业务反演,为全球提供 $10\ \text{km}$ 分辨率的气溶胶产品。之后,Levy 等(2013)又对该算法进行改进,提出了针对 MODIS 数据的 C6 海陆气溶胶光学厚度算法,基于该算法开发了 10 和 $3\ \text{km}$ 两种分辨率的产品。国内学者在该领域的研究,也主要集中在 MODIS 资料的应用方面,如李晓静等(2003)基于 6S 辐射传输模式,建立了基于 MODIS 资料的陆地 AOD 遥感模型,并对北京及其周边地区的 AOD 进行研究;李成才等(2005a)基于暗像元法,综合利

用地面太阳光度计数据和 MODIS 资料,提出了 $1\ \text{km}$ 气溶胶光学厚反演方法,并应用于香港地区的反演;李晓静等(2009)利用 AERONET 地基气溶胶监测网数据对对国家卫星气象中心业务运行的 MODIS 气溶胶遥感产品进行了产品质量检验及分析;肖钟湧等(2010)利用 NASA 的 C5.2 气溶胶业务反演算法,对广州市气溶胶光学厚度进行反演,并利用地面太阳光度计数据对反演结果进行了验证;刘灿等(2014)利用 NASA 发布的 C5.1 气溶胶光学厚度月数据集对西南地区气溶胶光学厚度的时空变化特征进行了分析。

由此可见,目前气溶胶遥感研究主要基于 MODIS 数据及产品,少见国产卫星资料在此领域的应用。风云三号(简称 FY3)是我国自主研发的第二代极地轨道气象卫星,可实现全球、全天候、全天时地球大气、海洋和陆地环境的综合遥感观测(杨军等,2011)。中分辨率光谱成像仪(Medium Resolution Spectral Imager, MERSI)是 FY3 搭载的主要光学仪器,具备从可见光到红外波段的 20 个探测波段(杨何群等,2013),可有效实现对气溶胶光学厚度的多光谱连续综合观测。FY3 A/B/C 三颗卫星分别于 2008 年 5 月、2010 年 11 月、2013 年 9 月发射,本文所选用的为 FY3A 卫星资料。文章首先利用地面太阳光度计的 AOD 观测数据对广东区域 MERSI AOD 产品进行精度检验,证明应用它进行区域气溶胶研究的可行性,然后利用该产品分析 2010—2013 年广东省气溶胶光学厚度的时空分布规律。

1 数据来源

本文使用的 MERSI AOD 产品来自于国家卫星气象中心(NMSC)的风云卫星遥感数据服务网。MERSI 的陆上气溶胶产品是利用 MERSI 的蓝通道($0.47\ \mu\text{m}$)、红通道($0.65\ \mu\text{m}$)、短波红外通道($2.1\ \mu\text{m}$)数据和地理定位数据,在云检测、臭氧总量、水汽总量等辅助数据支持下实现暗像元算法,反演晴空、无冰/雪/水体覆盖的陆地植被区上空 470 、 550 和 $650\ \text{nm}$ 波长的 AOD 产品(杨军等,2011)。从该网站下载日产品用于产品精度验证,下载月产品用于 AOD 时空变化分析。

部分实测数据来自于地面太阳光度计全球自动观测网(AERONET)。AERONET 数据可分为 3

级:L1.0 是没有经过云过滤和质量验证的数据, L1.5 是完成了云过滤、没有经过质量验证的数据, L2.0 是完成了云过滤和质量验证的数据(齐玉磊等,2013),本文使用的是 L2.0 数据。广东省加入该数据网的有 5 个站点,毗邻广东的香港有 3 个站点,但其中某些站点只提供了很短时期的数据。根据所用卫星资料的时间段和站点的数据的连续性,最终选取了广东中山大学站、香港理工大学站两个站点数据。

此外,还补充了广州热带海洋气象研究所在番禺区气象局利用太阳光度计观测的 2010 年 10 月至 2012 年 3 月的 AOD 数据。

2 区域产品精度验证

由于风云卫星遥感数据服务网至今未提供单轨数据反演的 AOD 产品,本文只能以 AOD 日产品来进行精度验证。该产品为全球 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 分幅的等经纬度网格投影产品,空间分辨率为 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ 。该产品为全球范围拼接产品,对于广东区域的数据,必定是由广州气象卫星地面站接收,卫星过境时间约 10 时前后,据此选择相应时段的地面太阳光度计数据进行精度验证。广东中山大学站、香港理工大学站、番禺区气象局站等三个站点,共筛选出时间和空间上相匹配的样本 82 组。

以地面太阳光度计测得 AOD 数据为横坐标、MERSI AOD 数据为纵坐标做出的散点图(图 1)可知,两者具有良好的相关关系,其相关系数达 0.72。MERSI AOD 数据的平均绝对值误差为 0.12,均方

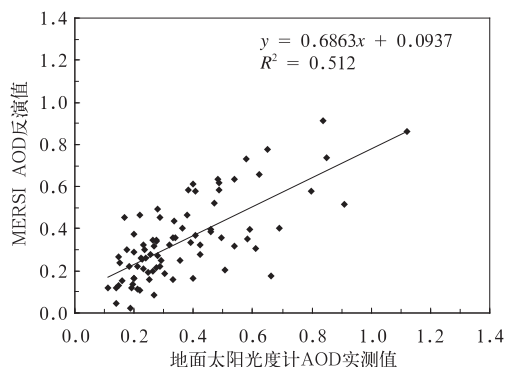


图 1 广东地区 MERSI AOD 与地面太阳光度计测得的 AOD 的散点图

Fig. 1 The scatter diagram about MERSI AOD and sun-photometer AOD in Guangdong Province

根误差为 0.15。这数据精度可满足本研究需要。

3 广东 AOD 时空分布特征

3.1 AOD 空间分布

据国家统计局对广东省的分区方法,广东可分为珠三角、东翼(粤东)、西翼(粤西)和山区五市(粤北)四个区域,其中珠三角包括广州、深圳、佛山、东莞、惠州、江门、中山、珠海、肇庆;东翼包括汕头、潮州、揭阳、汕尾;西翼包括、茂名、阳江、湛江等;北部山区包括韶关、梅州、清远、河源和云浮。从图 2 可知,2010—2013 年,AOD 的空间分布规律为:珠三角 > 西翼 > 东翼 > 山区五市,其中,佛山市、东莞市、中山市是广东省 AOD 均值最高的地区,梅州市、河源市是广东省 AOD 均值最低的地区。佛山市、东莞市、中山市均为有名的加工制造业基地,众所周知的“广东四小虎”为中山、顺德、南海、东莞,其中南海、顺德同为佛山市下属的区,由此,可见此三市在广东经济中的龙头地位。经济发展特别是制造业的发展、人口的聚集、城市化的加剧等因素综合导致了区域 AOD 偏高。梅州市、河源市均位于广东省东北部丘陵山区,经济相对落后,人口较少,加之生态环境保护较好,因此区域 AOD 较低。

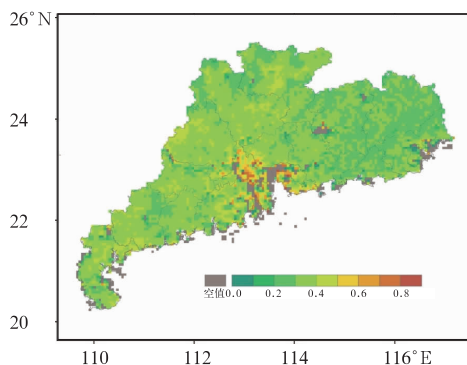


图 2 2010—2013 年广东省多年平均 AOD 分布图

Fig. 2 The average AOD distribution in Guangdong from 2010 to 2013

3.2 AOD 时间分布规律

首先,从年际变化规律来看(图 3),2010—2013 年,广东省年均 AOD 呈现先升高后降低的趋势。众所周知,2010 年为广州举办亚运会的年份,而广

州作为珠三角的中心城市,是国内细粒子污染较严重的城市之一,为确保亚运会期间的良好的空气质

量,当年广州市携手周边城市进行了区域大气环境联合整治并取得了较好的成效(吴兑等,2012)。这

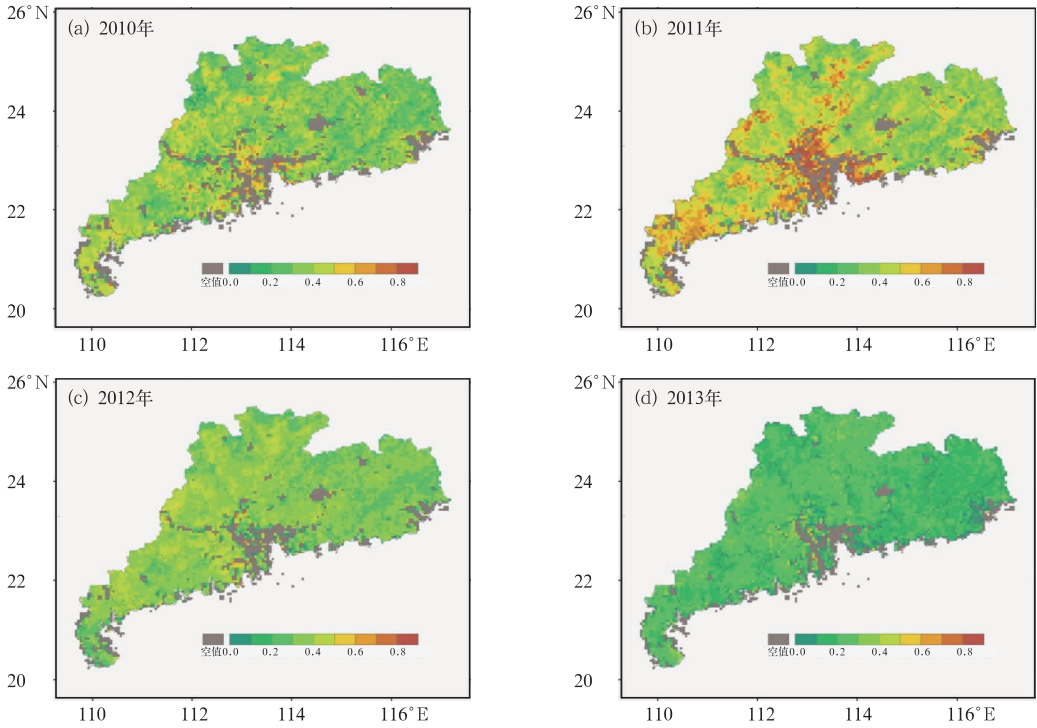


图 3 2010—2013 年广东省年平均 AOD 分布图

Fig. 3 The yearly average AOD distribution in Guangdong from 2010 to 2013

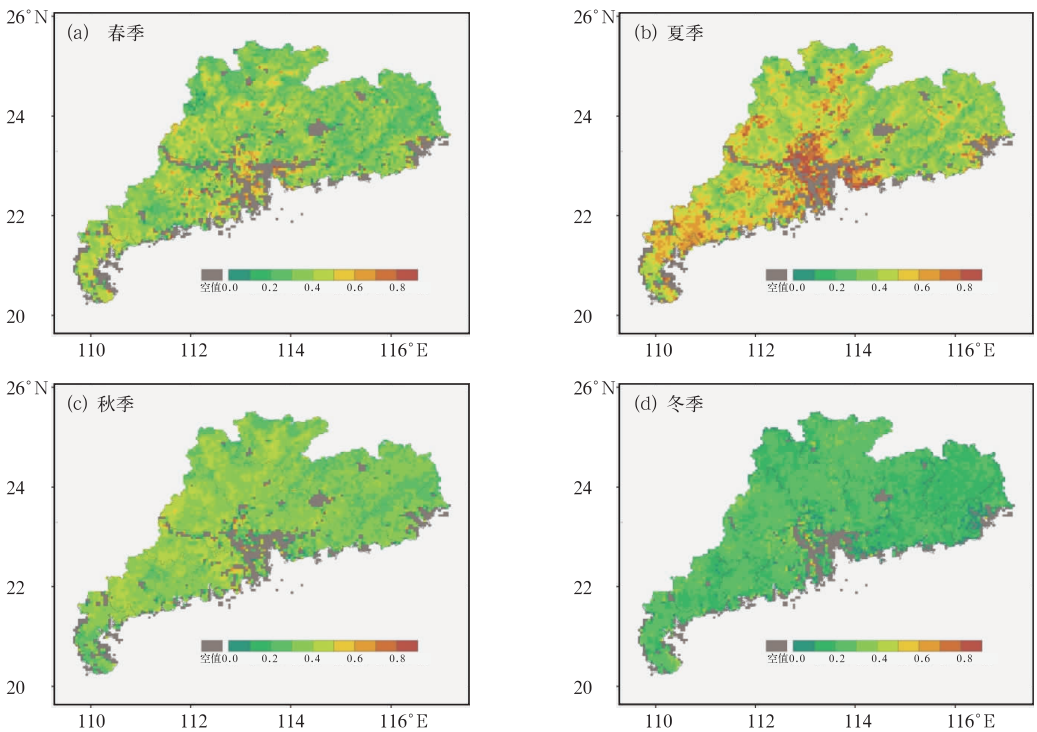


图 4 2010—2013 年广东省季节平均 AOD 分布图

Fig. 4 The seasonal average AOD distribution in Guangdong from 2010 to 2013

一系列举措也促进了以广州为中心的珠三角地区空气质量的好转,进而使得当年全省 AOD 均值相对较低。至 2011 年,为亚运会而专设的污染控制措施取消了,全省 AOD 均值呈现了上升趋势,特别是珠三角区域升幅明显。之后,随着城市经济的发展,全民环境保护意识的增强,以及某些城市甚至实施了机动车限购政策,广东省区域 AOD 均值连续两年呈现出下降趋势。

其次,为了解广东省 AOD 分布的季节规律,本文对 2010—2013 年的 AOD 数据做了季节平均(图 4)。其季节划分为:3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月与次年 1 和 2 月为冬季。从图 4 可知,广东地区 AOD 呈现明显的季节性变化,春季为 AOD 高值期,夏季、秋季次之,冬季最低,这一结论与李成才(2002)应用 MODIS 数据分析的结果及谭浩波等(2009)利用多波段太阳光度计数据反演的结果一致,但与低能见度事件经常发生在秋冬季节(吴兑等,2006;2012;2008;夏冬等,2013)的情形有所不同。这主要是因为 AOD 代表大气气溶胶在垂直方向上的消光作用,地面能见度代表地面层气溶胶的水平消光效果,而地面层气溶胶的浓度受边界层高度影响,春夏季对流发展旺盛、边界层高度高,秋冬季节则相反(齐冰等,2012;张思红等,2012);同时,春夏季 AOD 值较大也与这两个季节相对湿度较大导致气溶胶粒子的亲水增长有关(谭浩波等,2009);此外,也可能与东南亚生物质燃烧产生的污染物长距离输送有关(Deng et al, 2008)。

4 结 论

本文利用国产 FY3 极轨气象卫星的 MEISI AOD 产品分析广东省气溶胶光学厚度的时空分布特征,得出的主要结论如下:

(1) 利用广东中山大学站、香港理工大学站、番禺区气象局站等三个站点资料,筛选出时间和空间上与 MERSI AOD 产品相匹配的样本 82 组,两者相关系数为 0.72, MERSI AOD 数据的平均绝对值误差为 0.12,均方根误差为 0.15。这样的数据精度可满足本文的研究需要。

(2) AOD 的空间分布规律表现为:珠三角 > 西翼 > 东翼 > 山区五市,其中珠三角包括广州、深圳、佛山、东莞、惠州、江门、中山、珠海、肇庆,东翼包括

汕头、潮州、揭阳、汕尾;西翼包括、茂名、阳江、湛江等;北部山区包括韶关、梅州、清远、河源和云浮。佛山、东莞、中山三市因为制造业的发展、人口的聚集、城市化的加剧等因素导致它们成为广东省 AOD 均值最高的地区;梅州市、河源市由于位于东北部丘陵山区、经济相对落后、人口较少、生态环境保护较好,因此而成为广东省 AOD 均值最低的地区。

(3) AOD 的年际变化规律表现为:2010—2013 年间,AOD 呈现先升高后降低的趋势,2010 年为广州亚运年,一系列联防联控措施的出台导致了珠三角乃至广东全省空气质量的明显好转,与之相对应的是 AOD 值较低,至 2011 年 AOD 值有所升高,随后的 2012 和 2013 年 AOD 值连续降低。

(4) AOD 季节变化规律表现为:春季为 AOD 高值期,夏季、秋季次之,冬季最低。这一结论与珠三角地区 MODIS 数据分析的结果、多波段太阳光度计数据反演的结果一致。这主要是因为春夏季空气湿度较大、气溶胶粒子的吸湿性增长导致 AOD 值较大,同时也可能与东南亚生物质燃烧产生的污染物长距离输送有关。

参考文献

- 董自鹏,李星敏,杜川利,等. 2013. 西安地区气溶胶光学特性研究. 高原气象,32(3):856-864.
- 李成才. 2002. MODIS 遥感气溶胶光学厚度及应用用于区域环境大气污染研究. 北京:北京大学,53-72.
- 李成才,毛节泰,刘启汉. 2005a. 利用 MODIS 资料遥感香港地区高分辨率气溶胶光学厚度. 大气科学,29(3):335-341.
- 李成才,毛节泰,刘启汉,等. 2005b. MODIS 卫星遥感气溶胶产品在北京市大气污染研究中的应用. 中国科学 地球科学,35(增刊 D):177-186.
- 李晓静,刘玉洁,邱红,等. 2003. 利用 MODIS 资料反演北京及其周边地区气溶胶光学厚度的方法研究. 气象学报,61(5):580-591.
- 李晓静,张鹏,张兴赢,等. 2009. 中国区域 MODIS 陆上气溶胶光学厚度产品检验. 应用气象学报,20(2):147-156.
- 刘灿,高阳华,易静,等. 2014. 基于 MODIS 数据的西南地区气溶胶光学厚度时空变化特征分析. 西南大学学报(自然科学版),36(5):182-189.
- 刘玉洁,杨忠东. 2001. MODIS 遥感信息处理原理与算法. 北京:科学出版社.
- 齐冰,刘寿东,杜荣光,等. 2012. 杭州地区气候环境要素对灰霾天气影响特征分析. 气象,38(10):1225-1231.
- 齐玉磊,葛颀铭,黄建平. 2013. 北方地区 MODIS 和 MISR 与 AERO-NET 气溶胶光学厚度的比较及其时空分布分析. 科学通报,58(17):1670-1679.
- 谭浩波,吴兑,邓雪娇,等. 2009. 珠江三角洲地区气溶胶光学厚度的观测研究. 环境科学学报,29(6):1146-1155.

- 吴兑,毕雪岩,邓雪娇,等. 2006. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究. *气象学报*, 64(4):510-517.
- 吴兑,廖国莲,邓雪娇,等. 2008. 珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究. *应用气象学报*, 19(1):1-8.
- 吴兑,廖碧婷,吴晟,等. 2012. 2010 年广州亚运会期间灰霾天气分析. *环境科学学报*, 32(3):521-527.
- 夏冬,吴志权,蒙伟强,等. 2013. 一次热带气旋外围下沉气流造成的珠三角地区连续灰霾天气过程分析. *气象*, 39(6):759-767.
- 肖钟湧,江洪,陈健,等. 2010. 利用 MODIS 遥感数据反演广州市气溶胶光学厚度. *中国环境科学*, 30(5):577-584.
- 杨何群,周红妹,尹球,等. 2013. FY-3A/MERSI 数据在典型大城市热环境监测预报中的应用. *应用气象学报*, 9(11):25-32.
- 杨军,董超华. 2011. 新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用. 北京:科学出版社.
- 张恩红,朱彬,曹云昌,等. 2012. 长江三角洲地区近 30 年非雾天能见度特征分析. *气象*, 38(8):943-949.
- 张兴赢,张鹏,方宗义,等. 2007. 应用卫星遥感技术监测大气痕量气体的研究进展. *气象*, 33(7):3-14.
- 郑卓云,陈良富,郑君瑜,等. 2011. 高分辨率气溶胶光学厚度在珠三角及香港地区区域颗粒物监测中的应用研究. *环境科学学报*, 31(6):1154-1161.
- Carlson T N, Wending P. 1977. Reflected radiance measured by NOAA-3 AVHRR as a function of optical depth for Saharan dust. *Appl Meteor*, (16):1368-1371.
- Chu D A, Kaufman Y J, Zibordi G, et al. 2003. Global monitoring of air pollution over land from the Earth Observing System-Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Geophys Res*, 108 (D21): Art. No. 4661. doi: 10.1029/2002JD003179.
- Deng X J, Tie X X, Zhou X J. 2008. Effects of Southeast Asia biomass burning on aerosols and ozone concentrations over the Pearl River Delta (PRD) region. *Atmos Environ*, 42(36):8493-8501.
- Gordon H R. 1978. Removal of atmospheric effects from satellite imagery of oceans. *Appl Opt*, (17):1631-1636.
- Kaufman Y J, Sendra C. 1988. Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery. *Int J Rem Sens*, 9:1357-1381.
- Levy R C, Remer L A, Mattoo S, et al. 2007. Second-generation operational algorithm; Retrieval of aerosol properties over land from inversion of moderate resolution imaging spectroradiometer spectral reflectance. *J Geophys Res*, 112: D13211, doi: 10.1029/2006JD007811.
- Levy R C, Mattoo S, Munchak L A, et al. 2013. The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean. *Atmos Meas Tech*, (6): 2989-3034.
- Remer L A, Kaufman Y J, Tanré D, et al. 2005. The MODIS aerosol algorithm, products and validation. *J Atmos Sci*, 62(4): 947-973.