

陈艳,张武,张利,等. 青藏高原中部气溶胶光学厚度地基观测分析及MODIS气溶胶产品的检验[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 517-522, doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0517

青藏高原中部气溶胶光学厚度地基观测分析及 MODIS气溶胶产品的检验

陈艳,张武,张利,柳丹,宋松涛

(兰州大学大气科学学院,半干旱气候变化教育部重点实验室,甘肃 兰州 730000)

摘要:利用全球自动观测网(AERONET)纳木错观测点(90.962°E,30.773°N)2009年1~12月的地基观测数据,对青藏高原中部气溶胶光学厚度的分布进行了分析研究,并利用观测结果对MODIS气溶胶光学厚度(AOD)产品进行检验。结果表明,2009年1~12月期间,气溶胶光学厚度月平均值呈现双峰双谷状分布,3月的值最大。9月以后的波长指数 α 较小,这一时期气溶胶粒子的粒径较大。混浊系数 β 的平均值为0.063,说明该地区的空气较为清洁。利用该地基观测资料对MODIS AOD产品进行检验,结果表明两者的相关系数平方为0.14,没有通过95%的置信度检验,适用性不显著,需要进一步订正该地区的MODIS气溶胶光学厚度产品。

关键词:气溶胶光学厚度;MODIS气溶胶产品;检验

文章编号:1006-7639(2013)-03-0517-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0517

中图分类号:P407.1

文献标识码:A

引言

大气气溶胶是影响气候变化的重要因子,是气候模式中最不确定的因素之一,气溶胶光学厚度(Aerosol Optical Depth, AOD)是气溶胶最重要的参数之一,是描述气溶胶对太阳辐射进行消光(散射和吸收)的一个定量指标^[1]。因此研究大气气溶胶光学厚度的变化特征已经成为大气科学的一个热点问题。针对大气气溶胶特性,国内外学者已经作了大量的研究,目前主要采用多波段太阳光度计、卫星遥感、地面辐射资料与探空资料的联合反演等方法^[2-17]。

卫星遥感可以提供广阔背景上气溶胶的分布信息,弥补一般地面观测难以反映区域范围内空间分布和变化趋向的不足,为认识全球和区域尺度上气溶胶污染物的分布、来源以及区域间的输送过程提供有效的手段。中分辨率成像光谱仪(MODIS)是搭载在美国航空航天局(NASA)地球观测系统上的重要传感器。与以往的星载辐射计相比,MODIS在仪器定标、空间分辨率、光谱分辨率等方面都有很大

改进,具有独一无二的气溶胶光学厚度反演能力。在国内,李成才等^[18]利用北京大学地面多波段太阳光度计的观测与MODIS气溶胶产品进行了对比,发现二者的相关性比较好;李成才等^[19]还用香港的短期太阳光度计观测资料,检验了MODIS AOD在该地区的准确性,认为在植被密集的华南地区误差较小;黄健等^[20]通过研究表明MODIS AOD在珠江三角洲城市地区存在一定的系统性偏差;郑有飞等^[21]利用太湖、浙江林学院和千岛湖站AERONET数据对MODIS气溶胶光学厚度适用性进行验证表明,长江三角洲地区MODIS气溶胶光学厚度反演精度具有较大的地域差异;李栋等^[22]通过MODIS遥感中国东部海域气溶胶光学厚度与现场测量数据的对比分析表明,MODIS的反演精度具有一定的地域性和季节性差异,东海匹配数据的一致性明显好于黄海。上述的研究主要集中在我国东部及东南部等植被覆盖密集的地区。而针对下垫面复杂的青藏高原地区,利用地基资料检测卫星遥感气溶胶光学厚度的研究并不多。

青藏高原平均海拔4 000~4 500 m,作为一个

收稿日期:2013-03-21;改回日期:2013-05-21

基金项目:国家重大科学研究计划项目(2012CB955302)、兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2013-209)共同资助

作者简介:陈艳(1982-),女,内蒙古阿拉善人,工程师,硕士,研究方向为大气辐射与遥感. E-mail:chenyan@lzu.edu.cn

独立的气候单元,这里的气候变化不仅直接驱动我国东部和西南部的气候变化,而且对北半球气候具有巨大的影响,对全球的气候变化,也具有明显的敏感性、超前性和调节性。特殊的高原气候使得地表情况比较复杂,有草原、草地、积雪、戈壁等不同的下垫面。这一地区人烟稀少,主要以畜牧业为主,空气洁净,气溶胶来源少。但是由于高原气候和地理环境等的限制,在高原上所获得的气溶胶观测资料有限,尤其是长周期的观测资料。这就为高原地区气溶胶的研究带来一定的困难。随着 MODIS AOD 产品的发布,可以在一定程度上弥补该地区气溶胶观测的时间和空间上的不足,并可以提供长期的观测资料。

本文以 2009 年 1 ~ 12 月全球自动观测网 (AERONET) 纳木错观测点 (90.962°E, 30.773°N, 4740 m) 地基观测数据为基准,分析该地区气溶胶光学厚度的分布特征,然后对 MODIS AOD 在青藏高原中部地区 (89.05 ~ 92.05°E, 30.05 ~ 31.65°N) 的精度进行对比检验,以期探讨卫星遥感气溶胶产品在青藏高原地区的适用性,进一步了解在高原气候背景下气溶胶对全球气候变化的影响。图 1 是地面观测站点位置和 MODIS 数据空间范围。

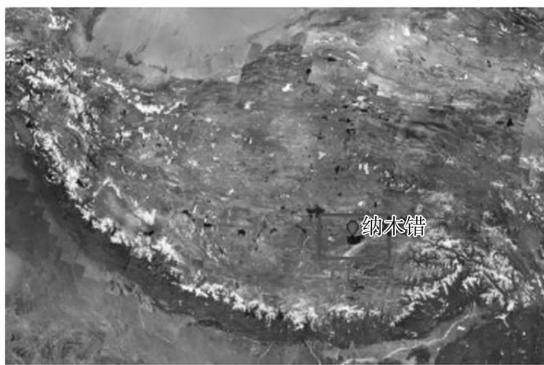


图 1 站点地理位置和 MODIS 数据空间选取范围 (圆圈为站点位置,矩形框为 MODIS 数据空间选取范围)

Fig. 1 The AERONET site and the selected region for MODIS/AOD

(the circle denotes geographical position of the site, the rectangular denotes the selected region of MODIS/AOD)

1 资料和处理方法

1.1 AERONET 站点介绍

AERONET 气溶胶监测网是在全球布站的气溶胶特性地基观测网^[26]。它以法国 CIMEL 公司生产的全自动 CE318 太阳光度计为观测仪器,该仪器共有 8 个通道,光谱覆盖可见光到近红外,扫描获得的

太阳直射辐射数据,经过计算可以得到气溶胶光学厚度、Junge 参数、大气可降水量、气溶胶粒子谱分布和气溶胶散射相函数等。Naka jima 等^[27]和 Dubovik 等^[28]先后对气溶胶尺度谱和相函数的反演算法进行了改进,利用比尔朗伯定律和 CE318 观测的直射太阳辐射可以反演 340、380、440、500、670、870、1020 nm 7 个波段的气溶胶光学厚度,由于地基太阳光度计观测反演气溶胶参数不受地表参数影响,在 >440 nm 的波段,它反演的 AOD 精度能够达到 0.015^[29],可以作为真值用于检验 MODIS AOD 产品。

纳木错观测点 (90.962°E, 30.773°N) 位于青藏高原中南部,在纳木错湖的东南岸,海拔 4730 m,背靠唐古拉山脉的雪峰,远离人类活动频繁的工农业生产区,夏季受印度季风影响,冬季受西风环流控制,洁净的自然环境和独特的大气环流系统,使得该地区对全球气候和环境变化极为敏感^[30],是 AERONET 观测网中大气环境最为清洁的站点之一。

1.2 MODIS 气溶胶资料的获取

新一代中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 是 TERRA 和 AQUA 2 颗卫星上的星载仪器,具有通道多 (36 个可见光和红外)、覆盖空间广 (2330 km 横向扫描) 等特点,可提供有关大气气溶胶、水汽、臭氧、云、地表植被、海色、浮游植物、生物地球化学等丰富的遥感信息^[23]。

NASA 发布的 MODIS 气溶胶 level 2 产品可提供每日 2 次 10 km × 10 km 大范围的 AOD 资料。由于该产品具有较高空间分辨率、覆盖率和准确性,已广泛应用于世界各地气溶胶特性、辐射效应和大尺度污染物输送等研究中。MODIS AOD 反演主要基于暗浓密植被反演法^[24-25],即基于较低反射率地表在中红外通道 (2.13 μm) 反射率与红 (0.66 μm)、蓝 (0.47 μm) 可见光通道之间的统计关系,利用中红外通道遥感到的反射率,确定红、蓝通道存在的暗像元,并估算暗像元在红、蓝通道反射率。利用全球气溶胶分布信息,选择合适的气溶胶模型,根据气溶胶模型查算表 (LUT) 中预先设定的卫星参数、气溶胶物理和辐射特性等参数,分别计算出 0.47 μm 和 0.66 μm 2 个波段的气溶胶光学厚度,并根据 Angström 定律内差到 550 nm 波段上。本研究所用的 MODIS 数据,均来自 NASA 的分布式数据存档中心网站 (<http://daac.gsfc.nasa.gov>)。

本文使用 AERONET 太阳直射算法以及太阳等高圈算法反演获得 2.0 级 AOD 地基观测数据。AERONET AOD_{550 nm}通过对 440 ~ 870 nm 配对波段的 AOD 插值求取。

2 青藏高原中部地区气溶胶光学厚度地基观测分析

2.1 不同波段气溶胶光学厚度变化

通过对观测数据的处理分析可知,不同波段气溶胶光学厚度的变化趋势大体一致。因为波长越短,气溶胶的消光能力越强,且在不同波段气溶胶光学厚度的变化与其理化性质有一定的关联。因此,不同波段气溶胶光学厚度虽变化趋势大体一致,但变化幅度略有差别^[31]。

图2是2009年7月21日太阳光度计在1 020 nm、870 nm和500 nm波段气溶胶光学厚度的变化图。从图中可以看到3个波段的变化趋势基本一致。在北京时间08:30左右出现最大值,之后逐渐减小。

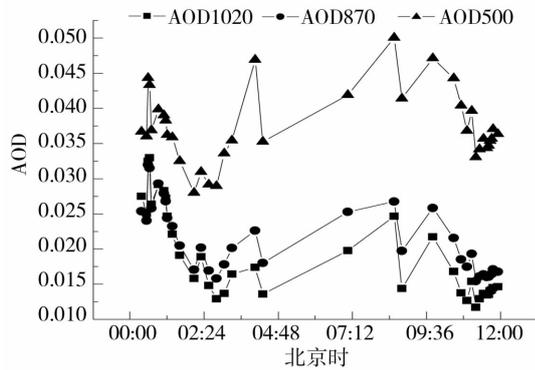


图2 不同波段气溶胶光学厚度逐时变化图

Fig.2 Hourly variation of aerosol optical depth at 500, 870 and 1 020 nm

2.2 气溶胶光学厚度的月变化

利用2009年1~12月纳木错观测点数据,对有效数据进行按月平均,得到气溶胶光学厚度的月变化分布(图3)。

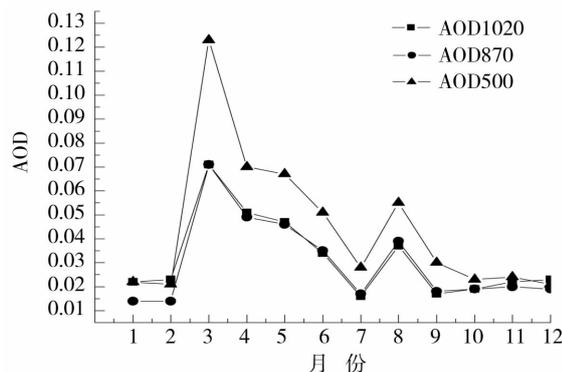


图3 2009年气溶胶光学厚度逐月变化图

Fig.3 Monthly variation of aerosol optical depth in 2009

从图3可以看出,2009年全年的气溶胶光学厚度数值都比较小,3个波段的气溶胶光学厚度值都在0.14以下,500 nm波段的平均值为0.045。2009年气溶胶光学厚度的月平均值呈双峰双谷状分布,3月出现最大值为一个波峰,7月出现最小值为一个波谷,8月出现另外一个振幅较小的波峰,9月为另外一个波谷。1 020 nm、870 nm和500 nm 3个波段的变化趋势基本一致,但是由于500 nm气溶胶光学厚度的变化随气溶胶理化特征的变化较为敏感,使得500 nm波段的曲线变化更为明显,而另外2个波段的曲线较为平缓。

2.3 Angstrom 波长指数和浑浊度系数的月变化

Angstrom在1929年提出了Angstrom指数定律^[32],建立了气溶胶光学厚度与波长间的指数关系:

$$\tau(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

式(1)中, $\tau(\lambda)$ 是对应波长为 λ 的气溶胶光学厚度; β 是1 μm 波长上的光学厚度,也被成为浑浊度系数,它和气溶胶粒子总数、折射指数和谱分布等有关; α 是Angstrom波长指数^[33],其数值与气溶胶平均半径有关,通常, $0.0 < \alpha < 2.0$, α 的值较小代表较大粒径的气溶胶粒子为主要粒子,反之代表较小粒径的气溶胶粒子为主要粒子^[34]。参数 α 和 β 可通过太阳光度计测量的2个不同波长处的光学厚度值计算出来。

利用太阳光度计测量得到的500 nm和870 nm的气溶胶光学厚度计算Angstrom波长指数 α 和浑浊度系数 β 。图4为Angstrom波长指数 α 和浑浊度系数 β 的月变化图。波长指数 α 在3月出现最大值

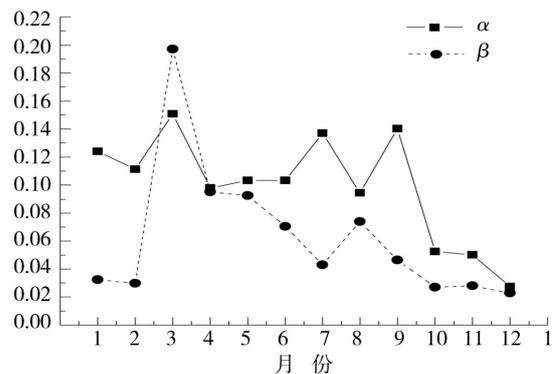


图4 2009年气溶胶 Angstrom 波长指数 α 和浑浊度系数 β 月变化

Fig.4 Monthly variation of Angstrom parameter α and β in 2009

0.151, 12 月出现最小值 0.027, 全年平均值为 0.099。总体来看, 9 月以后的波长指数 α 较小, 说明此段时间气溶胶粒子以较大的粒子为主要粒子。浑浊度系数 β 的月变化趋势和气溶胶光学厚度的变化趋势基本一致。在 3 月出现最大值 0.197, 2009 年全年平均值为 0.063。总体而言, 纳木错地区的空气较为清洁。

3 地基观测与 MODIS AOD 的对比

由于太阳光度计观测的气溶胶光学厚度会随着观测时间而变化, 而卫星遥感的 MODIS AOD 会随着空间而变化, 为了使地基观测数据与卫星反演数据具有一致的时空代表性和可比较性, 本文采用了 Ichoku 等^[35]的对比检验方法, 即选取卫星过境前后 30 min 内的太阳光度计观测数据, 与观测点周围 25 km 范围内的 MODIS AOD 平均值进行对比。为了消除云的影响, 选取晴天的观测资料。按照上述方法选取 MODIS 气溶胶产品和地面观测资料进行相关性分析, 验证 MODIS 气溶胶产品在这一地区的适用性。从 2009 年 1~12 月的观测数据中, 共获取时间和空间相匹配的资料样本 17 组。

图 5 为纳木错地区 2009 年 1~12 月 MODIS 气溶胶光学厚度 (MODIS AOD) 与地基太阳光度计观测气溶胶光学厚度 (CE318 AOD) 的散点图。图中虚线表示 $\nabla\tau = \pm 0.05 \pm 0.15\tau$, 实线表示 MODIS AOD 与 CE318 AOD 的线性拟合直线。由图可见, 17 组样本中有 14 组都在 NASA 预期的误差范围^[35] $\nabla\tau = \pm 0.05 \pm 0.15\tau$ 内, 占总体样本数的 82.4%, 均方误差为 0.064。通过采用最小二乘法对匹配的样本进行一元线性拟合, 得到拟合方程为 $y = 0.25x + 0.04$, $R^2 = 0.14$, 没有通过 95% 的置信度检验。

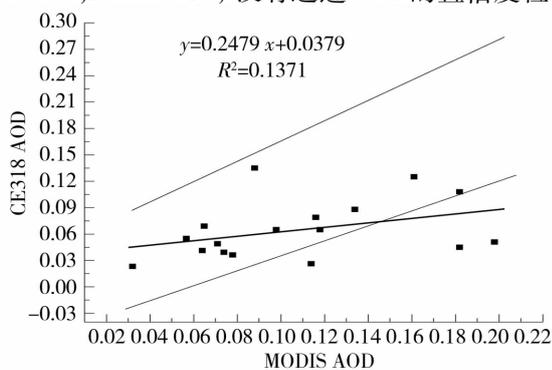


图 5 纳木错地区 MODIS AOD 与 CE318 AOD(550 nm) 的对比

Fig. 5 The comparison between MODIS AOD and CE318 AOD(550 nm) in Namucuo

因此, MODIS AOD 与 CE318 AOD 的线性相关关系不是很好, MODIS AOD 在这一地区存在着系统偏差, 适用性不显著。

图 6 是这 2 组数据的时间序列, 匹配的样本都集中在 4~8 月之间, 其中 4 月、5 月、7 月和 8 月各有 3 组样本, 6 月有 5 组样本。可以直观地看出, 观测站点所在地大气的 AOD 值很小 (MODIS AOD 的平均值为 0.108, 标准差为 0.049, CE318 AOD 的平均值为 0.065, 标准差为 0.033), 这是由于这一地区靠近纳木错湖, 远离城市, 没有污染源, 空气清洁。但是总体来看, MODIS AOD 的值大于 CE318 AOD 的观测值, 即卫星反演的结果普遍较地基观测偏大。

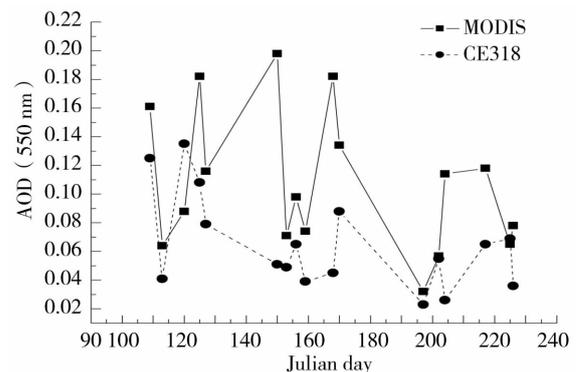


图 6 MODIS AOD 与 CE318 AOD (550 nm) 的时间序列

Fig. 6 The time series of AOD(550 nm) from MODIS and CE318

分析误差产生的原因, 一是与该地区复杂的下垫面造成反演 MODIS AOD 时对地表反照率的估算存在较大误差。MODIS AOD 的反演基于 Kaufman 等^[24-25]建立的暗背景反演算法。该算法利用密集植被在 0.47 μm 和 0.66 μm 通道地表反照率低的特性, 以 2.13 μm 波段的地表反照率 $\rho_{2.13}$ 作为判据, 选出满足 $0.01 \leq \rho_{2.13}^s \leq 0.25$ 条件的地表“暗背景”像素, 并根据 $\rho_{0.47}^s \approx 0.25\rho_{2.13}^s$ 和 $\rho_{0.66}^s \approx 0.25\rho_{2.13}^s$ 的线性关系, 计算“暗背景”像素的地表反照率。由于此地区处于高原地区, 海拔较高, 气候寒冷, 秋冬季节多为裸露的地表, 符合“暗背景”条件的像素点较少, 反演误差较大。从 6 月以后天气渐暖, 降水增多, 而逐渐返青的密集的地表植被, 使得满足“暗背景”条件的像素点增多, 反演误差也随着减小。按 Kaufman 等^[24]估计, 如果地表反照率误差为 0.01 则可导致约 0.1 的 MODIS AOD 误差, 而在 AOD 较小情况下, 由此造成的误差更为显著。青藏高原中东部地区空气清洁, AOD 的值较小, 因此, 造成的误

差也相对较大。另外选取的气溶胶模型可能存在误差。由于 NASA 缺乏全球气溶胶特性的准确数据,将全球分为一系列大区域,每一区域代表一种特定气溶胶系统,这样就会使得局地气溶胶的反演产生误差。

综上所述,从相关性来看,纳木错地区的 MODIS 气溶胶产品与地基观测结果相比误差较大,需要进一步改进这一地区利用卫星遥感资料进行气溶胶光学厚度反演的方案,也需要进一步订正地表反照率和气溶胶模型。

4 结 论

(1)利用 AERONET 纳木错观测点 2009 年 1 ~ 12 月的地基观测资料进行分析,结果显示气溶胶光学厚度在 1 020 nm、870 nm 和 500 nm 波段的变化趋势基本一致。气溶胶光学厚度的月平均值呈双峰双谷状分布,3 月和 8 月呈现峰值,7 月和 9 月呈现谷值。从 Angstrom 波长指数 α 可知,9 月以后的波长指数 α 较小,这一时期气溶胶粒子的粒径较大。混浊系数 β 在平均值 0.063 附近波动,说明纳木错地区的空气较为清洁。

(2)通过将 MODIS 气溶胶产品和地基观测资料在纳木错观测点地基观测资料进行对比,两者的均方误差为 0.064,拟合方程为 $y = 0.25x + 0.04$,没有通过 95% 的置信度检验。MODIS 气溶胶光学厚度在这一地区存在一定的误差,误差产生的原因一方面是由于复杂的下垫面情况造成反射率的估算误差较大,另一方面是由于气溶胶模型的选取误差。利用 Kaufman 扩展的暗像元方法,来计算该地不同季节的地表反射率;观测气溶胶的尺度分布,复折射率,单次散射反照率等性质的季节变化,建立气溶胶模型。把更为适用的地表反照率和气溶胶模型加入到相关算法中反演更为准确的气溶胶光学厚度分布是下一步要做的工作。

致谢:感谢 NASA 提供的 MODIS 气溶胶数据,感谢 AERONET 站点对于 CE318 数据的维护、收集和處理。

参考文献:

[1] 延昊, 矫梅燕, 毕宝贵, 等. 国内外气溶胶观测网络发展进展及相关科学计划[J]. 气象科学, 2006, 2(1): 110 - 117.
 [2] 常倬林, 张武, 史晋森, 等. 黄土高原半干旱地区气溶胶特性[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2008, 44(2): 1 - 8.
 [3] 冯晶晶, 陈艳, 张武, 等. 基于 BRDF 订正的兰州地区春季气溶胶光学厚度反演实验[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(1): 1 - 7.

[4] 张玉洁, 陈艳, 张武, 等. MODIS 资料遥感黄土高原半干旱地区气溶胶光学厚度[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(1): 43 - 51.
 [5] 刘广员, 孙毅义. 大气气溶胶光学厚度的卫星双通道遥感方法[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(3): 321 - 327.
 [6] 杨嘉, 郭锐, 贾建华. 西北地区 MODIS/NDVI 与 MODIS/EVI 对比分析[J]. 干旱气象, 2007, 25(1): 38 - 43.
 [7] 宋薇, 张镭. 大气气溶胶光学厚度遥感研究概况[J]. 干旱气象, 2007, 25(3): 76 - 81.
 [8] 徐敬, 张小玲, 颜鹏, 等. 2006 年春季沙尘天气下背景地区大气气溶胶光学特性的观测研究[J]. 气象科技, 2008, 36(6): 679 - 685.
 [9] 郭锐, 梁芸. 利用 MODIS 资料定量判识沙尘暴方法研究[J]. 干旱气象, 2006, 24(1): 1 - 6.
 [10] 李成才, 毛节泰, 刘启汉, 等. 利用 MODIS 光学厚度遥感产品研究北京及周边地区的大气污染[J]. 大气科学, 2003, 27(5): 869 - 880.
 [11] 夏俊荣, 张镭. Mie 散射激光雷达探测大气气溶胶的进展[J]. 干旱气象, 2006, 24(4): 68 - 72.
 [12] 马鹏里, 张强, 杨兴国, 等. 大气化学研究进展——臭氧、气溶胶研究综述[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 66 - 70.
 [13] 董海鹰, 刘毅, 管兆勇. MODIS 遥感中国近海气溶胶光学厚度的检验分析[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(3): 328 - 337.
 [14] 张佃国, 郭学良, 肖稳安. 北京及周边地区 2003 年夏秋季气溶胶和云滴分布特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(3): 402 - 410.
 [15] 李新周, 刘晓东. 气溶胶对青藏高原气候变化影响的数值模拟分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(1): 1 - 9.
 [16] 李富刚, 林春英, 李仑格. 西北地区气溶胶大气光学厚度研究综述[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 694 - 696.
 [17] 王娜, 张镭. 沙尘气溶胶辐射特性及其观测方法初步评述[J]. 干旱气象, 2007, 25(4): 68 - 73.
 [18] 李成才, 毛节泰, 刘启汉, 等. 利用 MODIS 光学厚度遥感产品研究北京及周边地区的大气污染[J]. 大气科学, 2003, 27: 869 - 879.
 [19] 李成才, 毛节泰, 刘启汉. 利用 MODIS 资料遥感香港地区高分辨率气溶胶光学厚度[J]. 大气科学, 2005, 29(3): 335 - 342.
 [20] 黄健, 李菲, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲城市地区 MODIS 气溶胶光学厚度产品的检验分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(5): 526 - 532.
 [21] 郑有飞, 董自鹏, 吴荣军, 等. MODIS 气溶胶光学厚度在长江三角洲地区适用性分析[J]. 地球科学进展, 2011, 26(2): 224 - 234.
 [22] 李栋, 陈文忠. MODIS 遥感中国东部海域气溶胶光学厚度与现场测量数据的对比分析[J]. 光学学报, 2010, 30(10): 2828 - 2836.
 [23] Michael D King, Reynold Greenstone. 1999 EOS Reference Handbook [A]. A Guide to NASA's Earth Science Enterprise and the Earth Observing System [M]. 1999.
 [24] KAUFMAN Y J, WALD A E, REMER L A, et al. The MODIS 2.1 μm channel - Correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 1997, 35(5): 1286 - 1298.

- [25] KAUFMAN Y J, TANRE D, REMER L A, et al. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer [J]. *J Geophys Res*, 1997, 102(14):17051–17067.
- [26] Holben BN, Eck TF, Slutsker I, et al. AERONET A federated instrument network and data archive for aerosol characterization [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, 66:116–126.
- [27] Nakajima T, Tonna G, Rao R, et al. Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions [J]. *Applied Optics*, 1996, 35:2672–2686.
- [28] Dubovik O, King M D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from sun and sky radiance measurements [J]. *Geophysical Research*, 2000, 105:1072–1087.
- [29] Eck T F, Holben B N, Dubovik O, et al. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols [J]. *Geophysical Research*, 1999, 104(31):333–350.
- [30] 丛志远. 青藏高原纳木错地区大气气溶胶光学和理化特征研究 [D]. 北京:中国科学院研究生院, 2008.
- [31] 刘希, 胡秀清. 厦门海域大气气溶胶光学厚度地基观测分析及卫星遥感检验 [J]. *热带海洋学报*, 2011, 30(4):38–43.
- [32] Angstrom A. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air [J]. *Geograf. ~ ka Annaler*, 1929:156–166.
- [33] Angstrom A. The parameters of atmospheric turbidity [J]. *Tellus*, 1964, 16(1):64–75.
- [34] 尹宏. 大气辐射学基础 [M]. 北京:气象出版社, 1993, 42–45.
- [35] ICHOKU C, CHU D A, MATTOO S, et al. A spatio-temporal approach for global validation and analysis of MODIS aerosol products [J]. *Geophys Res Lett*, 2002: 29, doi: 10.1029/2001GL013206.

Analysis on Ground – based Observations of the Aerosol Optical Depth in the Central Tibetan Plateau Region and Test of MODIS Aerosol Product

CHEN Yan, ZHANG Wu, ZHANG Li, LIU Dan, SONG Songtao

(*Key Laboratory of Semi – Arid Climate Changes of the Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: According to the ground – based observations of aerosol optical depth (AOD) at Namucuo site (90.962°E, 30.773°N), which is one of the Aerosol Robotic Network (AERONET) sites, from January to December in 2009, the distribution of the aerosol optical depth in the central region of Tibetan Plateau was analyzed, and the MODIS aerosol optical depth products were tested by using the ground – based observation result. The results show that monthly mean AOD changed regularly from January to December in 2009 and presented two peaks and two valleys, the maximum AOD was in March and August, in July and September it was minimum. The Angstrom parameter α reached its lower value from September to December, and at the same time the particles size of aerosol was relatively larger. The annual mean value of turbidity coefficient β was 0.063, which indicated the air over there was clean. The comparison between MODIS AOD products and the ground – based observations showed that the square of correlation coefficient was 0.14, and it was not significant at 95% confidence level. MODIS aerosol optical depth products there needed to be further revised.

Key words: aerosol optical depth; MODIS AOD products; test