

郭文昕,车慧正,陈权亮,等.北京地区地基天空辐射计与卫星云特性参数对比研究[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(6):95-102.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.06.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



北京地区地基天空辐射计与卫星云特性参数对比研究

郭文昕^{1,2},车慧正^{2*},陈权亮¹,肖之盛²

(1.成都信息工程大学大气科学学院,四川 成都 610225;2.中国气象科学研究院,北京 100081)

摘要:利用2019年中分辨率成像光谱仪(MODIS)卫星数据、搭载在葵花-8卫星上的成像仪(AHI)观测数据和天空辐射计观测数据分析北京城区云光学特性的时空分布特征。结果表明,北京地区的云光学厚度(Cloud optical depth,COD)和云滴有效半径(Cloud drop effective radius,CER)呈现明显时空变化特征。南部地区较高而北部地区较低,夏季的COD明显高于其他季节,最高值为20左右。CER在春季和夏季呈现相反的区域分布特征,春季南低北高,夏季南高北低,而秋冬季CER明显低于春夏两季。通过将天空辐射计观测数据与卫星观测结果对比分析发现二者在COD方面一致性较高,相关系数(r)分别为0.69和0.66,MODIS反演的CER与地基遥感结果一致性较差,r值仅为0.053,而葵花-8反演的CER与地基遥感结果一致性较好,r值达到0.53。

关键词:MODIS;葵花-8;云光学厚度;云滴有效半径;时空分布特征

中图分类号:P407

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)06-0095-08

云是大气中小水滴或小冰晶混合组成的漂浮在空中的可见聚合物,是地球大气层中重要的组成部分,在全球水文循环、气候变化和大气热量传输^[1,2]中起到非常重要的作用。

研究表明,云光学厚度(COD)和云滴有效半径(CER)作为云的重要特性,对区域降水过程和气候变化具有重要的影响。Rosenfeld等^[3]研究发现,当CER在14 μm左右,该区域的云层就有很高几率产生降水。王磊等^[4]发现,华北地区的COD和云顶温度对于地面降水有较强的指示作用。刘健等^[5]利用FY-1D和NOAA卫星的红外、可见光数据,发现COD与该地区地面降水量呈现正相关关系。李特^[6]

利用MODIS数据对中国陆地区域冰云的云微观物理特性进行了分析,结果表明,冰云的COD和CER水平分布和季节变化均与东亚季风和强对流天气有一定关系。

目前关于云特性的研究方法主要包括地基观测研究和卫星观测研究。曹亚楠^[7]利用MODIS卫星数据对安徽淮北和江淮地区的云光学特性进行了研究分析,研究表明,两地夏季的CER相当,均在14 μm左右。江淮地区四季的CER均比安徽淮北略高。江淮地区秋冬两季的COD相对安徽淮北较高。游婷^[8]利用MODIS云的资料对夏季中国不同类型的云分布特征进行研究,结果表明,不同高度的COD分布特征与地形分布有着密切的关系。叶晶等^[9]基于MODIS数据开发了一种多层COD和CER的反演算法,并且反演结果与MODIS产品(MOD06)中的COD和CER的结果较为一致。范学伟^[10]利用葵花-8数据研究了东亚夏季冰云的云顶特征分布。吕珊珊^[11]通过毫米波雷达开发了一种垂直云结构的判定

收稿日期:2020-04-19;修回日期:2021-06-04

基金项目:国家自然科学基金(41590874)

作者简介:郭文昕(1995—),男,硕士在读,主要从事大气物理与大气环境方向的研究。E-mail: gwx1131959253@163.com

通信作者:车慧正(1977—),男,研究员,主要从事大气物理与大气环境方向的研究。E-mail: chehz@cma.gov.cn

方法,并且与葵花-8和MODIS云的数据进行相关性分析,发现一致性较强。李莉^[12]开发了一种利用天空辐射计进行云检测的方法。

目前在北京地区结合地基观测和卫星数据分析云特性的研究还较少,基于此,本文运用MODIS数据、葵花-8卫星资料对北京地区上空的云光学特性进行相关性分析,进而再将卫星和地基观测的数据进行相关性分析。

1 资料和方法

1.1 地基观测数据

地基观测数据选取时段为2019年全年时段数据资料。观测仪器为日本PREDE公司生产的天空辐射计(POM-02),架设在北京中国气象科学研究院楼顶(39.933°N,116.317°E),是较为典型的城市站点。天空辐射计可以自动观测红外与可见光的直接辐射和散射辐射。根据Nakajima^[13]的反演方法,利用POM-02的7个通道(400、500、670、870、1 020、1 627、2 200 nm)反演得到气溶胶光学厚度(AOD)、粒子谱分布、单次散射反照率、复折射指数的实部和虚部等数据。Khatri等^[14]利用POM-02天顶散射辐射测量数据,建立了COD和CER反演算法。利用该算法对日本千叶(35.62°N,140.10°E)、五岛(26.87°N,128.25°E)、冲绳(32.75°N,128.68°E)3个站点的观测数据进行了反演,并与MODIS和葵花-8云的资料进行相关分析。结果表明:COD与MODIS和葵花-8的反演产品一致性较好,相关系数 r 分别为0.58、0.69。而对于CER,地基和卫星遥感产品一致性较差, r 分别为0.11、-0.05^[14]。通过该算法对北京地区云参数进行反演研究,同时用MODIS和葵花-8云的资料进行对比分析。

1.2 卫星观测数据

采用的是北京地区(39°~42°N、115°~118°E)2019年3月—2020年2月MODIS遥感数据资料(<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/search>)。使用MODIS Level 2.0(collection 6)云产品所提供的COD和CER数据,该数据产品空间分辨率为5 km×5 km。

葵花-8卫星是日本气象厅2014年10月17日发射的气象静止卫星,于2015年7月投入使用。该卫星资料的时间和空间分辨率都较高,时间分辨率为10 min,空间分辨率为1 km×1 km。使用了葵花-8(Himawari-8)上搭载的成像仪(Advanced Himawari Imager,AHI)推出的CLP产品中的COD和CER资

料(<ftp.ptree.jaxa.jp>),选取的研究时间与MODIS卫星研究时间一致。

1.3 地基反演的方法介绍

本文通过以下算法来进行反演COD和CER。 λ 为POM-02三个较长的波段(870、1 020、1 627 nm)。透射率 T 由以下关系式来表示:

$$T(\lambda) = \frac{\pi E(\lambda)}{\mu_0 \Delta \Omega(\lambda) F_0(\lambda)} \quad (1)$$

其中, μ_0 、 F_0 、 $\Delta \Omega$ 代表太阳高度角、天空辐射定标系数以及立体角, E 为太阳直接辐射,对于弱吸收波段870 nm和1020 nm,采用Nakajima等提出迭代Langley法标定得到对应的仪器响应常数,而对于吸收波段(1 627 nm),据Lambert定律:

$$\ln(F_{1627} R^2) = \ln F_{0,1627} - (\tau_{\text{aer}} + \tau_{\text{ra}}) M \quad (2)$$

其中, τ_{aer} 和 τ_{ra} 分别为气溶胶光学厚度以及分子瑞利散射光学厚度, M 为大气光学质量, R 为日地距离。 F_{1627} 为1 627 nm波段的天空直接辐射,可利用天空辐射计直接观测获得。 τ_{aer} 、 τ_{ra} 数据则可以通过Nakajima^[13]的反演方法得到。 M 和 R 可以通过观测站点的经纬度信息以及对应的时间信息来计算, F_0 为天空辐射计定标系数,可通过(2)式计算可得,之后再代入(1)式来计算 T 值。

$$J = (x - x_a)^T S_a^{-1} (x - x_a) + [y - F(x, b)]^T S_y^{-1} [y - F(x, b)] \quad (3)$$

式中, J 为代价函数, x 为待反演值,即COD和CER。 x_a 为 x 的先验值(2019年MODIS云资料的COD和CER的平均值)。 y 为太阳辐射的透射率数据, $F(x, b)$ 为 y 的先验值,可以通过将降水数据 W 和地表反照率数据 A 输入SBDART辐射传输模式(The Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer)^[15]计算获得,并且建立与透射率值对应COD和CER查找表(LUT),当 J 最小的时候,即观测值计算得到的 T 值与SBDART计算得到的 $F(x, b)$ 值最接近,查找表中与该透射率对应的COD与CER即为反演结果。 τ 、 r_e 代表COD和CER。 T_{870} 、 T_{1020} 、 T_{1627} 代表870、1 020、1 627 nm三波段对应的透射率。 A_{870} 、 A_{1020} 、 A_{1627} 分别是870、1 020、1 627 nm对应的地表反照率,地表反照率来自于MODIS资料(产品编号:MCD43A4)。 W 为降水数据(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)。 S_a 、 S_y 分别代表误差数据和先验值(2019年的AHI云观测资料的COD均值和CER平均值)利用(3)式计算出 x ,得到反演结果。

$$x = \begin{pmatrix} \ln \tau \\ \ln r_e \end{pmatrix}, y = \begin{pmatrix} \ln T_{1.627} \\ \ln T_{1.020} \\ \ln T_{870} \end{pmatrix}, b = \begin{pmatrix} W \\ A_{1.627} \\ A_{1.020} \\ A_{870} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

2 北京地区云光学特性的时空分布特征

2.1 云光学厚度变化

COD 一方面体现了云层的厚实程度,另一方面反映了云中水量的分布,即与区域降水有比较密切的关系。本文通过对北京地区上空 2019 年 3 月—2020 年 2 月 4 个季度 COD 季节平均数据进行了研究,其中春季为 3、4、5 月,夏季为 6、7、8 月,秋季为 9、10、11 月,冬季为 12、1、2 月。图 1~4 给出了北京地区云光学特性的春、夏、秋、冬四季分布。北京地区的云光学特性四季变化较大,且呈现 MODIS 和葵花-8 卫星观测数据有较高的一致性。

在春季,北京地区 COD 呈南低北高的分布特征(图 1a),北京北部和西部地区即北京的密云(MY),昌平区(CP),房山(FS)部分地区的 COD 较大,约为

13~17。其余区域 COD 较小,约为 9~13。由图 2a 可知,北京中部地区即密云(MY)和怀柔区(HR)的南部区域 COD 较大,达到 13~17。北京地区其他区域的 COD 值较小,为 9~13。

在夏季(图 1b、图 2b),北京地区 COD 呈南高北低的分布特点。从图 1b 的 COD 分布可知,高值区在北京南部地区即在房山区(FS)东部、石景山区(SJS)、丰台区(FT)以及顺义区(SY)一带,该区域 COD 为 16~20。而在北京地区北部即北京的怀柔区(HR)北部和密云(MY)郊区一带,COD 值较小,约为 11~15。从图 2b 可以看出,北京地区北部即怀柔区(HR)北部,COD 较小为 11~15。在北京其他区域 COD 较大,COD 为 15~19。其中在昌平区(CP)、顺义区(SY)以及朝阳(CY)周边地区达到最大值,达到 19 左右。

在秋季,北京地区 COD 的分布(图 1c、2c),依旧呈南低北高的特点,从图 1c 可看出北京地区北部,即密云(MY)、怀柔区(HR)北部、顺义区(SY)部分地区 COD 值较大,达到 13~17。其他地区整体较

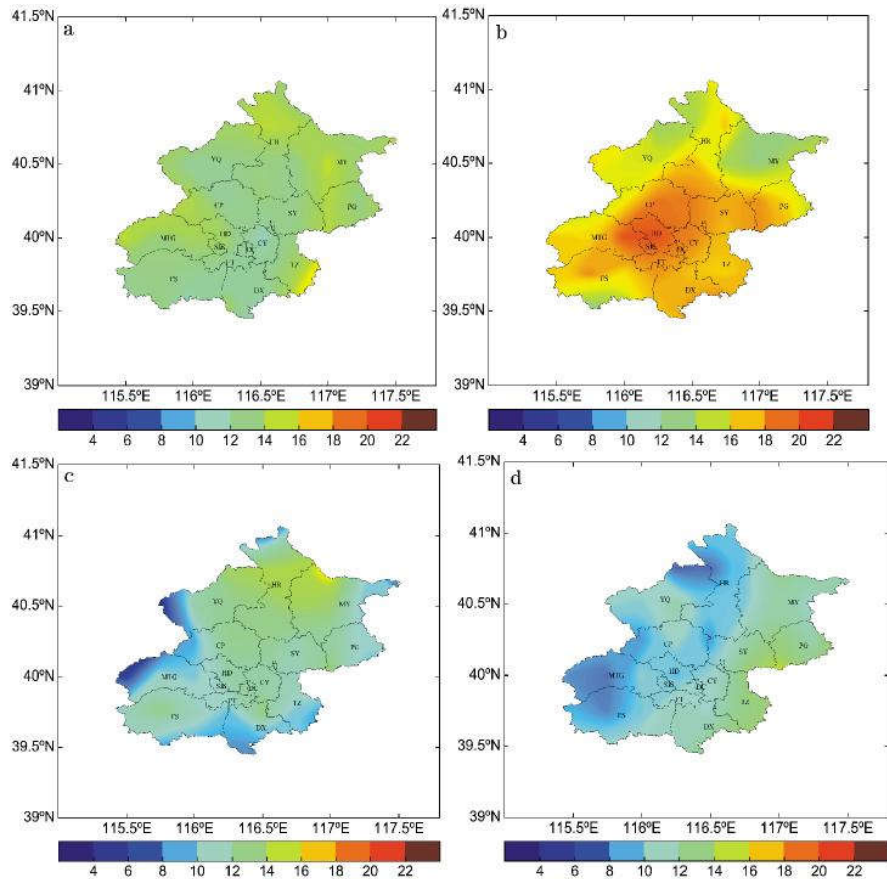


图 1 基于 MODIS 卫星数据在北京地区 COD 时空特征分布

(图 a~d 为春、夏、秋、冬季节平均的空间分布)

小,在10~14。图2c给出了北京地区秋季葵花-8的COD分布特征,结果表明在北京地区中部和西南部即延庆区(YQ)、怀柔区(HR)北部、房山区(FS)南部地区的COD较大,达到了13~17。而在北京中部地区COD较小,约为9~13。

在冬季,北京地区COD分布(图1d、2d)呈现由东南向西北递减的分布特点,与其他季节分布特点不同。图1d显示,北京地区东南部即通州(TZ)东南部和大兴北部为高值区,达到13~17。该区域以北为低值区,为9~13。图2d和图1d对于COD方面,有较强的一致性。北京地区东南部,即大兴(DX)和房山区(FS)南部,为COD的高值区,达到13~17。而北京其他区域COD值较小,北京地区西部的门头沟(MTG)北部、昌平(CP)西部以及延庆(YQ)的COD最低,达到6左右。

2.2 云滴有效半径变化

云滴有效半径(CER),是云参数中重要的微物理量,不仅对云的发展演变有重要作用,还与云中水含量分布与变化有密切关系。图3、图4分别给出了

MODIS以及葵花-8四季北京地区CER分布。研究发现:北京地区CER季节变化显著,夏季CER最大,达到28~32 μm 。冬季CER最小,为19~23 μm 。春季北京地区CER呈由东南向西北递减的趋势,夏季相反,冬季则呈南低北高的分布特征。由图3c、4c发现,秋季CER分布特征差异较大,图3c呈由南向北先递增后递减的分布特征,而图4c呈现出由南到北先递减后递增的分布特征。这可能是由于MODIS和葵花-8云资料的时间、空间分辨率不同导致的。

在春季(图3a),在北京区域CER呈现由东南向西北递增的分布特点,其中高值中心在北京地区西南和西北部,即房山区(FS)南部和延庆区(YQ)西部,达到27~31 μm 。高值区在北京的西南和西北部,即怀柔区(HR)、延庆(YQ)、昌平区门头沟(MTG)地区以及房山区(FS)西部,在26~30 μm 。其余地区为低值区,在23~27 μm 。由图4a可知,北京地区CER分布整体与图3a较为一致,均呈由东南向西北递增的分布特点,但是整体较图3a大2 μm ,即高值区在28~32 μm ,低值区在25~29 μm 。

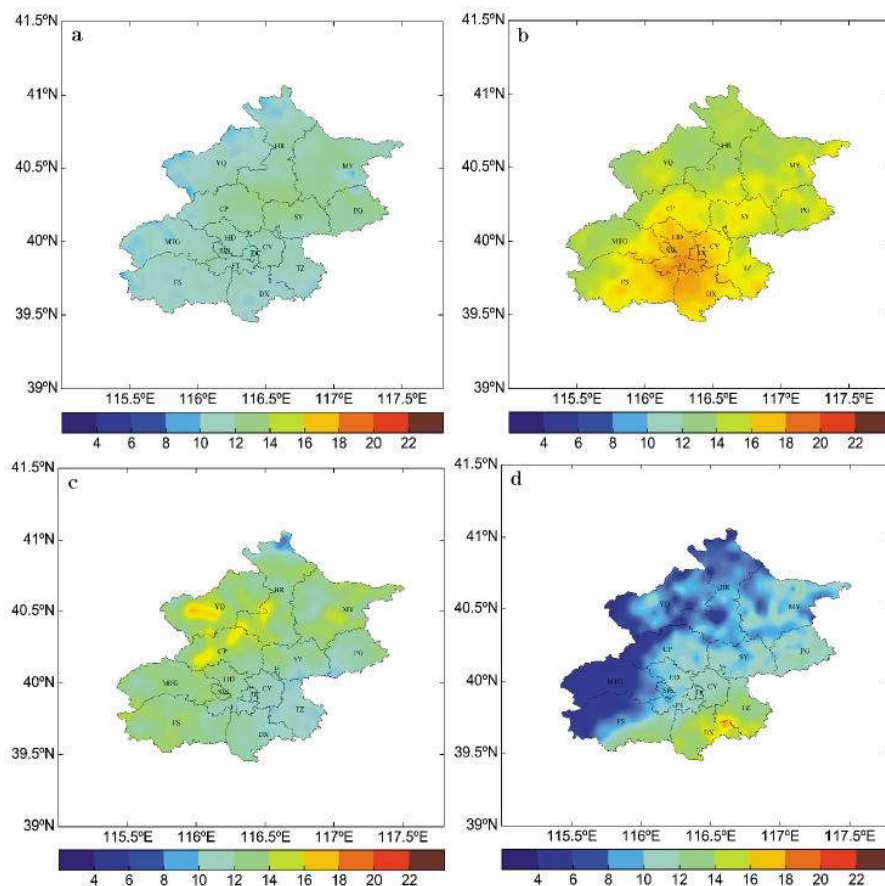


图2 基于葵花-8卫星数据在北京地区COD时空特征分布
(图a~d为春、夏、秋、冬季节平均的空间分布)

夏季 CER 在四季中最大(图 3b),最高值在 $30\ \mu\text{m}$ 左右。在北京地区 CER 分布特征与春季相反,即呈东南部高西北部低的分布特征。高值区在北京中部、北京东南部以及西侧区域,即门头沟(MTG)西部、大兴区(DX)、通州区(TZ)、以及顺义区(SY)周边区域,达到 $26\sim 30\ \mu\text{m}$ 。而其他区域为低值区,在 $23\sim 27\ \mu\text{m}$ 。图 4b 和图 3b 分布较为一致,不同的是 CER 值较高 $2\ \mu\text{m}$ 左右。

秋季与春夏两季相比,CER 较低(图 3c)。秋季北京地区 CER 分布空间分布差异较小,高值区在北京地区东北侧和西南侧,即房山区(FS)西部和密云(MY)东部,达到 $28\ \mu\text{m}$ 左右。而其他地区为低值区,在 $23\sim 27\ \mu\text{m}$ 。葵花-8 北京地区秋季 CER 分布(图 4c)与图 3c 的分布特征不同,图 4c 呈由南向北先递减后递增的分布特征,高值区在北京地区南部和北侧,即怀柔区(HR)北部、大兴区(DX)以及通州(TZ)东部区域,达到 $23\sim 27\ \mu\text{m}$ 。北京中部地区为低值区,达到 $18\sim 22\ \mu\text{m}$ 。

图 3d、4d 描述了北京地区冬季 CER 分布,均呈

南低北高的分布特征,低值区在北京南部即房山区(FS)南部和大兴区(DX)一带,约为 $19\ \mu\text{m}$ 。高值区在北京地区中部和北部地区,即顺义区(SY)、平谷区(PG)、怀柔区(HR)、密云区(MY)一带,达到 $28\ \mu\text{m}$ 左右。在北京地区东部即平谷(PG)和顺义区(SY)一带出现高值中心,最大达到 $32\ \mu\text{m}$ 左右(图 4d)。北京其他区域的 CER 分布整体与图 3d 一致。

3 地基反演结果与卫星数据的对比

通过地基反演算法得出的反演结果与 MODIS 卫星数据以及葵花-8 卫星观测数据进行对比分析。选取 2019 年 1—12 月北京站点 (39.933°N , 116.317°E)天空辐射计观测数据,由于地基观测数据和卫星观测数据时间和空间分辨率的差异性,选取地基观测数据的时间与 MODIS 观测时间间隔 $<2.5\ \text{min}$,与葵花-8(AHI)观测间隔 $<5\ \text{min}$,空间分辨率均 $<1\ \text{km}$ 。为了提高研究结果的准确率^[16],去掉晴天时间段云观测数据,使得选取的时间段云层较厚。

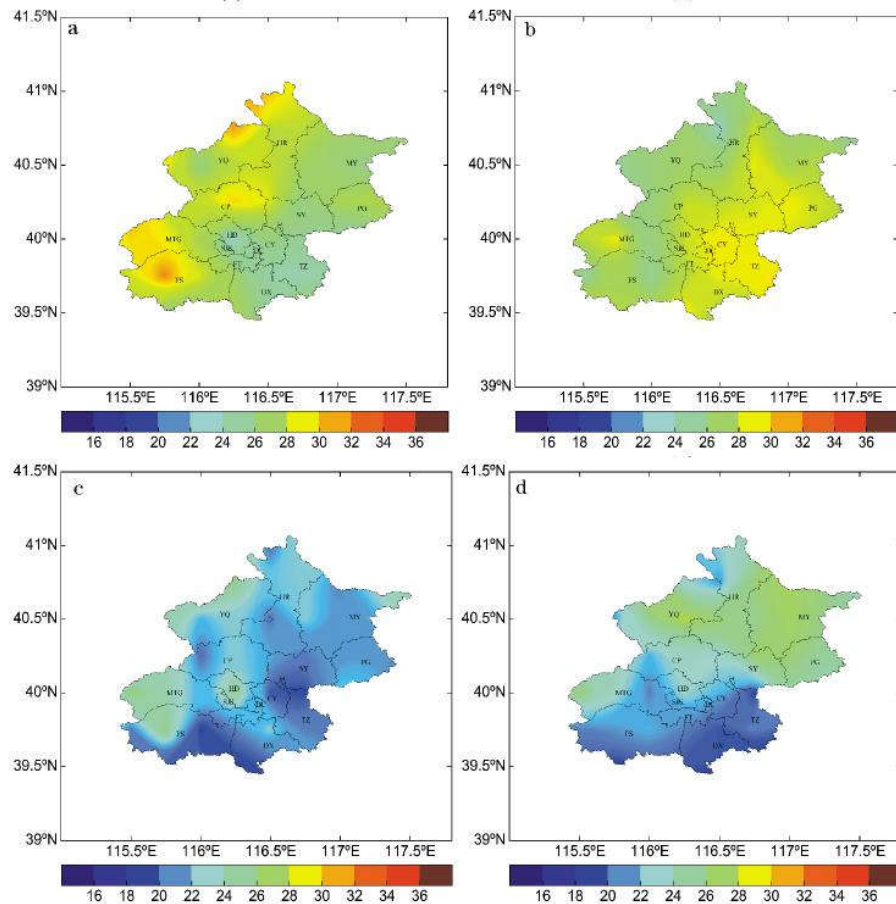


图 3 基于 MODIS 卫星数据在北京地区 CER 时空特征分布
(a~d 为春、夏、秋、冬季节平均的空间分布)

图5给出了地基反演结果和MODIS云的资料在2019年北京地区COD(图5a)与CER(图5b)线性拟合图。结果表明,均方根误差(RMSE)为3.74, r 值为0.69。该算法在COD方面的反演结果与MODIS中的COD观测资料较为一致。而对于CER,该反演结果与MODIS中的CER观测数据有较大差异, RMSE为11.70, 而 r 值为0.053。

图6给出了地基反演结果和葵花-8云的资料

在2019年北京地区COD和CER线性拟合图。结果表明:该算法对于COD反演结果与葵花-8中的COD观测结果拟合程度较好,两者有较强的一致性。RMSE达到4.08, 而 r 达到了0.660 3。而在CER方面,该算法反演结果与葵花-8中观测结果一致性相较于MODIS较强,其中RMSE达到8.02, r 为0.53。对于CER,两种卫星与反演结果一致性不同。影响因素可能是:(1)Platnick等^[7]发现这可能由于

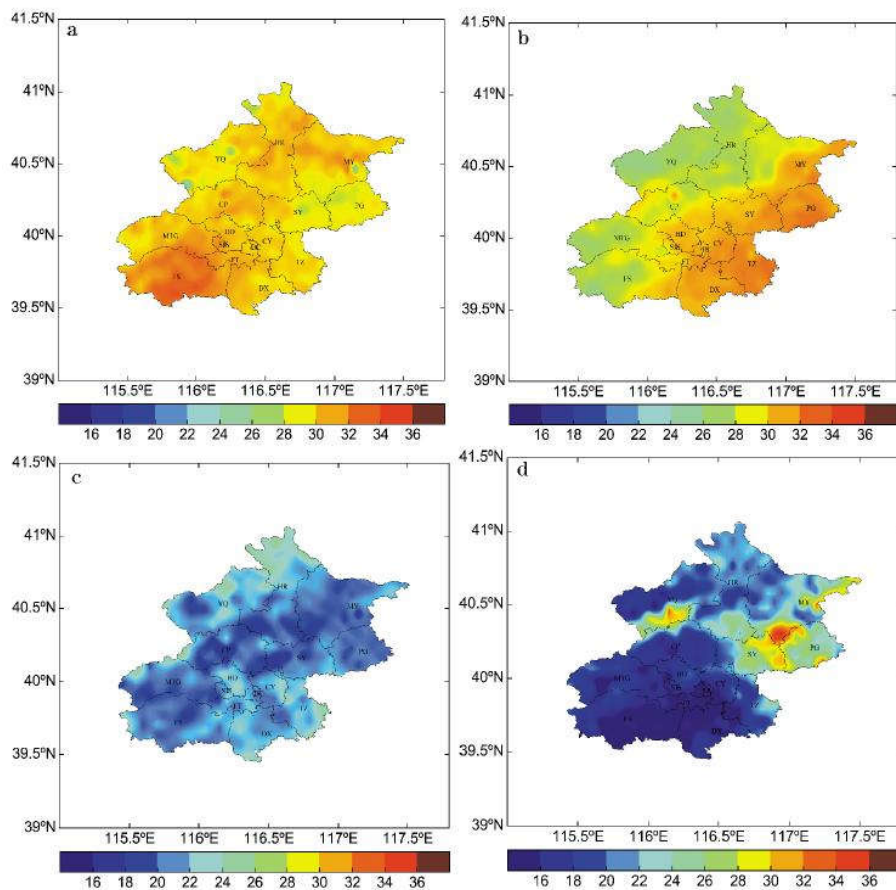


图4 基于葵花-8卫星数据在北京地区CER时空特征分布
(a-d为春、夏、秋、冬季节平均的空间分布)

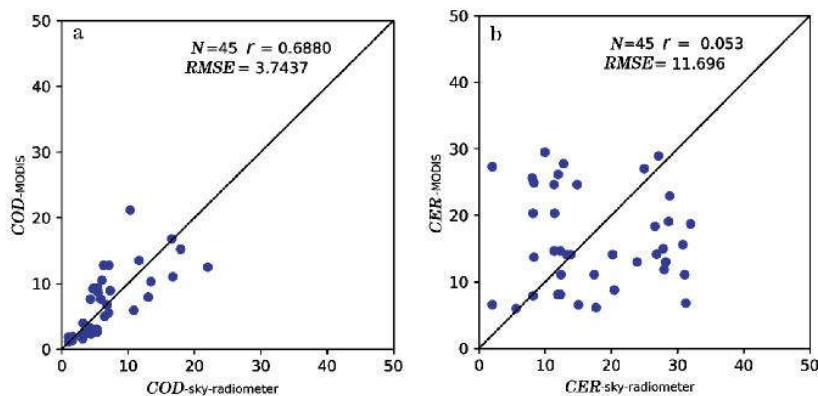


图5 地基反演结果(sky-radiometer)与MODIS卫星观测数据COD(a)、CER(b)对比

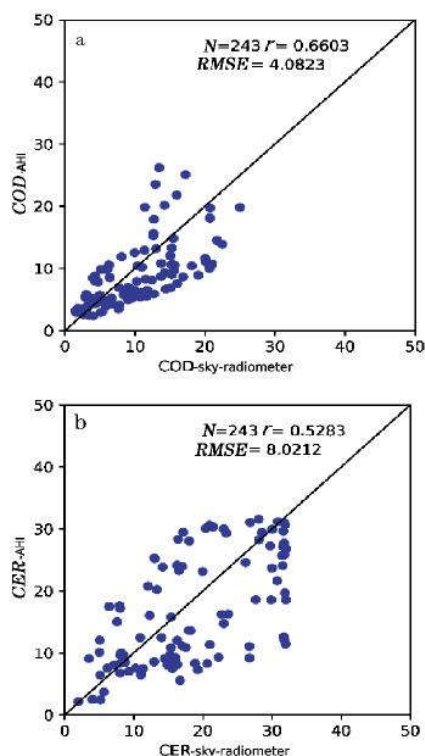


图6 地基反演结果(sky-radiometer)与葵花-8(AHI)观测数据 COD (a)、CER(b)对比

卫星的信号传感器对云的顶层的敏感度较高,而天空辐射计的传感器对整个云层敏感度较高。(2)由于时空分辨率的不同,葵花-8时空分辨率远远超出MODIS,这可能导致与两种卫星的一致性不同的原因。(3)MODIS与葵花-8数据反演COD与CER所利用的波段不同^[7]。

4 结论

利用MODIS数据和葵花-8(AHI)数据对北京地区四季云光学厚度(COD)和云滴有效半径(CER)进行相关性分析,两种卫星观测结果整体分布较为一致。但是四季仍然有些许差异,其中在秋季差异最大。这可能是由于两种卫星资料在时间分辨率和空间分辨率的差异造成的。结果显示,在COD方面,北京地区四季分布差异明显,夏冬两季呈南高北低的分布特征,而春秋两季呈南低北高的分布特点。四季中夏季COD最大,约为17。游婷等^[8]认为这可能是我国中东部区域受到夏季风的影响,由于强对流活动有利于深厚云的发展,所以导致南部COD较高。四季中冬季COD值最低,最低为5~9。

在云滴有效半径(CER)方面,四季中春季CER呈东南部低、西北部高的分布特征,而夏季则相反。

秋冬两季CER整体较低。冬季CER呈南低北高的分布特征。两种卫星云的资料在秋季分布差异性较大。利用MODIS云的资料,在北京地区的CER分布呈南低北高的分布特征,而利用葵花-8云的资料,在北京地区CER分布呈现由南向北先增后减的分布特征。在冬季,利用葵花-8观测资料发现北京地区东部出现高值中心,达到32 μm 。

利用地基反演结果与MODIS和葵花-8云的资料对比分析,结果发现,在COD方面,发现二者一致性较强, r 值分别为0.69和0.66。在CER方面,发现反演结果与MODIS一致性较弱, r 值为0.053,而与葵花-8反演结果较好, r 值为0.53。另外算法原作者^[4]利用该算法反演日本站点上空的COD和CER,反演结果与MODIS和葵花-8相比较后,发现对于COD值一致性较强,对于CER一致性较差。则说明该算法对于我国的适应性相比日本的适应性较强。该算法可以对卫星遥感数据进行校验,以及对于后续相关云参数反演算法的开发与改进提供了参考。

参考文献:

- [1] ARKING A. The radiative effects of clouds and their impact on climate [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1991, 72(6): 795-813.
- [2] 赵敏. 东亚地区云参数的长期变化趋势及其对辐射收支的影响研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2019.
- [3] ROSENFELD D, LENSKEY I M. Satellite-based insights into precipitation formation processes in continental and maritime convective clouds [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(11): 2457-2476.
- [4] 王磊, 周毓荃, 蔡森, 等. 华北云特征参数与降水相关性的研究[J]. 气象与环境科学, 2019, 42(3): 9-16.
- [5] 刘健, 张文建, 朱元竟, 等. 中尺度强暴雨云团云特征的多卫星资料综合分析[J]. 应用气象学报, 2007, (2): 158-164.
- [6] 李特, 郑有飞, 王立稳, 等. 基于MODIS产品的中国陆地冰云季节变化特征[J]. 应用气象学报, 2017, 28(6): 724-736.
- [7] 曹亚楠, 周述学, 袁野, 等. 利用MODIS云产品对安徽不同地区云特性的研究[J]. 遥感信息, 2020, 35(1): 53-63.
- [8] 游婷. 夏季中国不同类型云分布特征及其对近地表气温的影响研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2020.
- [9] 叶晶, 李万彪, 严卫. 利用MODIS数据反演多层云光学厚度和有效粒子半径[J]. 气象学报, 2009, 67(4): 613-622.
- [10] 范学伟, 郑有飞, 王立稳. 基于Himawari-8气象卫星的东亚夏季冰云云顶特征分布[J]. 气象科学, 2021, 41(1): 50-59.
- [11] 吕珊珊, 周青, 张勇. 基于毫米波雷达观测及探空反演的

- 云垂直结构对比分析[J].气候与环境研究,2021,26(1):18-30.
- [12] 李莉,李正强,许华,等.一种利用太阳天空辐射计进行云检测的方法:CN,109959978A[P].2019-07-02.
- [13] 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(15):2672-2686.
- [14] KHATRI P, HIRONOBU I, TADAHIRO H, et al. Retrieval of cloud properties from spectral zenith radiances observed by sky radiometers [J].Atmospheric Measurement Techniques,2019,12(11):6037-6047.
- [15] RICCHIAZZI P, YANG S. SBDART: A research and teaching software tool for plane-parallel radiative transfer in the earth's atmosphere [J].Bulletin of the American Meteorological Society,1998,79(10):2101-2114.
- [16] KHATRI P, HAYASAKA T, IWABUCHI H, et al. Validation of MODIS and AHI observed water cloud properties using surface radiation data [J].Journal of the Meteorological Society of Japan.2018,96(B):151-172.
- [17] PLATNICK S. Vertical photon transport in cloud remote sensing problems [J].John Wiley & Sons,Ltd,2000,105(D18):22919-22935.
- [18] 游婷,张华,王海波,等.夏季白天中国中东部不同类型云分布特征及其对近地表气温的影响 [J]. 大气科学,2020,44(4):835-850.

Comparison and Analysis of Cloud Optical Properties over Beijing Based on Satellite Data and Sky Radiometer

GUO Wenxin^{1,2},CHE Huizheng²,CHENG Quanliang¹,XIAO Zhisheng²

(1.College of Atmospheric Sciences,Chengdu University of Information Technology,Chengdu 610225, China;2.Chinese Academy of Meteorological Sciences,Beijing 100081,China)

Abstract The spatiotemporal distribution characteristics about optical properties of cloud in Beijing were analyzed based on the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS),the Advanced Himawari Imager (AHI) on board Himawari-8 and the sky radiometer data in 2019,which indicate that the spatiotemporal characteristics of cloud optical depth (COD) and cloud drop effective radius (CER) over Beijing are decreasing from north to south.The maximum of COD was about 20,and the values of COD in summer are obviously higher than that in other seasons.The values of CER in spring and summer show opposite regional distribution characteristics,with a decreasing trend from south to north in spring,and opposite characteristics in summer.In addition,the values of CER in autumn and winter are lower than that in other seasons.The COD between sky radiometer match satellite observations with the correlation coefficient (r) of 0.69 and 0.66 for MODIS and AHI,respectively.Further,CER between MODIS and sky radiometer show poor agreement,with the r values of 0.053.However,both the r of 0.53 for AHI data and sky radiometer suggest a better consistency.

Key words MODIS; Himawari-8;cloud optical thickness; cloud droplet effective radius