

利用 MODIS 卫星资料反演中国地区晴空 地表短波反照率及其特征分析

王开存^{1,2)} 刘晶淼³⁾ 周秀骥³⁾ 王普才¹⁾

1) (中国科学院大气物理研究所中层大气与全球环境探测开放实验室, 北京 100029)

2) (北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871)

3) (中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要 利用 MODIS 地表双向反照率产品 (MOD43B1), 结合地表海拔高度和地表覆盖类型资料, 计算并分析了中国地区晴空反照率的时空分布, 以及地表反照率与地形和地表覆盖的关系。首先, 利用改则自动气象站的地基观测对 MODIS 地表反照率进行了对比验证。验证结果表明卫星观测可以较好地反映反照率随时间的变化, MODIS 地表反照率与地表实测反照率符合较好。年平均地表反照率与海拔高度有很好的相关, 反照率的高值出现在高海拔山区。冬春季节, 我国高海拔山区因积雪覆盖成为反照率的高值区; 夏秋季节, 地表反照率主要受地表土壤湿度和植被盖度的影响, 沙地和沙漠地带反照率最高。最后, 计算了中国典型地表类型的反照率随时间的变化, 结果表明大部分地表类型的反照率具有较大的时间变化, 地表反照率在春秋季节较大, 夏季反照率较小。

关键词: MODIS; 中国地区; 反照率; 地表类型; 海拔高度

文章编号 1006-9895 (2004) 06-0941-09 **中图分类号** P405 **文献标识码** A

1 引言

地表短波反照率是影响地球气候系统的关键因子之一^[1~3]。研究表明, 亚马孙平原、热带非洲^[4]及澳大利亚西部^[5], 由于人类活动导致的地表反照率的增加, 都产生了降水和蒸发的减少。现在, 大部分的全球环流模式 (GCM) 地表反照率的相对误差一般在 5%~15%^[6]。BOREAS (北方生态系统—大气研究) 计划发现欧洲中心使用的冬季森林上的地表反照率与实际观测有明显的差异, 从而使模式对近地面气温有系统性的低估^[7]。

遥感方法是监测全球地表短波反照率唯一可行的方法^[8]。地球观测卫星给监测全球或区域上地表短波反照率的时空分布提供了条件。利用卫星遥感资料反演地表反照率需要进行大气订正和双向反射订正^[9]。然而, 现在大多数卫星, 无法实现同时反演水汽和气溶胶含量, 因此也很难进行准确的大气订正。为了获得地表双向反射特性函数, 现在流行的方法是假定地表反照率在一段时间 (即平均周期内) 不变, 利用多次卫星观测 (不同角度) 拟合地表双向反射率函数的参数^[8]。选择平均周期大小时必须

2003-06-04 收到, 2003-11-06 收到修改稿

* 国家高技术研究发展计划项目 (863) 2002AA135360 和国家自然科学基金资助项目 40375035、40275030 共同资助

考虑以下两个因素：足够的晴空资料，满足地表反照率不变的假定。选择地表反照率算法必须进行折中：适当延长平均周期，如 AVHRR 是 32 天（即月平均），MODIS 是 16 天；降低资料的分辨率，把多个像素聚合到一起，考虑平均地表反照率。

利用 NOAA/AVHRR 卫星资料反演月平均地表短波反照率已经有大量的研究^[10~12]。美国对地观测系统（EOS）中分辨率成像光谱仪（MODIS）多波段遥感资料为准确反演地表短波反照率提供了有利条件。MODIS 有 36 个通道，可以同时大气、海洋、陆地进行观测^[13]。可以同时反演水汽总含量、气溶胶光学参数、臭氧总含量、地表反照率等大气、陆地参数^[14]。MODIS 第一次实现了真正意义上的对卫星资料的大气订正^[15]。相对于 NOAA/AVHRR，MODIS 在反演地表反照率方面的主要进步在于：（1）MODIS 具有专门观测卷云的通道，反射波段的 0.25 km 和 0.5 km 分辨率有助于准确检测像素上的薄云和小面积的云，减少了云污染。（2）MODIS 可以观测水汽和气溶胶，可以进行较为精确的大气订正。（3）MODIS 反射波段的地表分辨率高，分别是 0.25 km 和 0.5 km，较 NOAA/AVHRR 的 1.1 km 有较大的提高。这样，MODIS 在设计地表反照率算法时，可以减小地表反照率的平均周期，增加资料空间分辨率。因为相同观测次数，MODIS 的像素个数是 AVHRR 的 4（或 16）倍。像素数目的增加可以降低地表反照率反演算法中的平均周期，这样可以提高地表反照率的准确度。（4）因为 MODIS 在反射波段的波段较多，在进行反照率从卫星窄波段到宽波段的转换时，精度较高^[16]。这是因为 MODIS 反射率通道多在窄波段到宽波段转换时，MODIS 是 NOAA/AVHRR、Land TM、GOES、MISR、MODIS、POLDER 和 VEGETATION 等 7 种卫星中最准确的^[16]。AVHRR 只有两个反射通道，它的窄波段到宽波段的转换公式往往有很大的差异^[17~20]。徐兴奎等^[10~12]在他们的三篇文章里就使用了三个不同的转换系数。（5）实际地表反照率与大气状况有关^[21]，地表对直接辐射和散射辐射的反照率不同。MODIS 陆地产品组分别给出了直接辐射反照率和散射辐射反照率，真实的地表反照率可以用二者的线性组合求出^[22]。

因此，本文利用 MODIS 陆地科学组发布的反照率产品，结合地表海拔高度和地表覆盖类型资料，分析了中国地区的晴空地表反照率时空分布特征，以及地表反照率与地形和地表覆盖类型的关系，并给出了我国不同地表覆盖类型平均反照率。

2 MODIS 地表反照率算法

MODIS 地表反照率算法的步骤^[9]是：（1）对卫星观测到的大气上界向上辐射进行大气订正，转换成地表向上辐射，根据计算出的地表入射辐射计算出地表反射率。（2）根据不同视角的晴空观测，利用经验的双向反射分布函数模型，拟合模型的参数。对拟合得到的 BRDF 模型进行积分，就可以得到窄波段地表黑空反照率（直射反照率）和白空反照率（散射反照率）。（3）根据太阳辐射光谱和各波段滤波器透过率函数，进行反照率的窄波段到宽波段的转换，可以得到宽波段直射反照率和散射反照率。实际的晴空反照率可以由下式得到^[22]：

$$\rho = (1 - s)\rho_{\text{dir}} + s\rho_{\text{dif}}, \quad (1)$$

其中， ρ 为晴空反照率， ρ_{dir} 为直接反照率， ρ_{dif} 为散射反照率， s 为散射辐射与总辐射的

比, 这里简称散射比。给定散射比 s , 可以用公式 (1) 计算出地表反照率。

利用 6S^[23] 模式对大气的各种影响直接辐射和散射辐射的因子进行了模拟。结果发现在影响太阳辐射的因子当中, 海拔高度、水汽总含量、臭氧总含量虽然对地表入射辐射的绝对值有较大的影响, 但对 s 的影响很小。对 s 影响较大的因素是气溶胶光学厚度和太阳天顶角, s 随气溶胶光学厚度和太阳天顶角的增加而增加。本文气溶胶光学厚度的资料, 我们采用罗云峰^[24] 得出的中国地区 1979~1990 年 12 年的月平均气溶胶光学厚度资料, 太阳高度角每 16 天采用一个平均值。

因为气溶胶光学厚度时空变化较大, 2002 年的光学厚度可能与 1979~1990 年的平均光学厚度有较大的差异, 因此需要对 (1) 式得到的晴空地表反照率进行光学厚度导致的反照率的反演误差分析。假定 s 有 Δs 的误差, 由 (1) 式可以得到晴空地表反照率的误差 $\Delta\rho$ 为

$$\Delta\rho = \Delta s(\rho_{\text{dir}} - \rho_{\text{dir}}). \quad (2)$$

因此, 反演误差的大小主要决定于散射反射率与直射反射率之间的差异。图 1 表示了在本研究区域内 ($20\sim 50^\circ\text{N}$, $70\sim 130^\circ\text{E}$) 二者的平均差别与平均离差。冬季因为太阳高度较低, 直射反照率大于散射反照率。但二者的最大差异要小于 0.04。我们利用 6S 模式模拟了光学厚度对 s 的影响。在太阳天顶角为 45° 时, 气溶胶光学厚度从 0.5 增大到 1.0, s 从 0.116 增大到 0.193, s 的变化 $\Delta s = 0.077$ 。因此, 可以看出有气溶胶光学厚度误差引起的反照率的反演误差是很小的, 反演误差的量级约为 0.003。

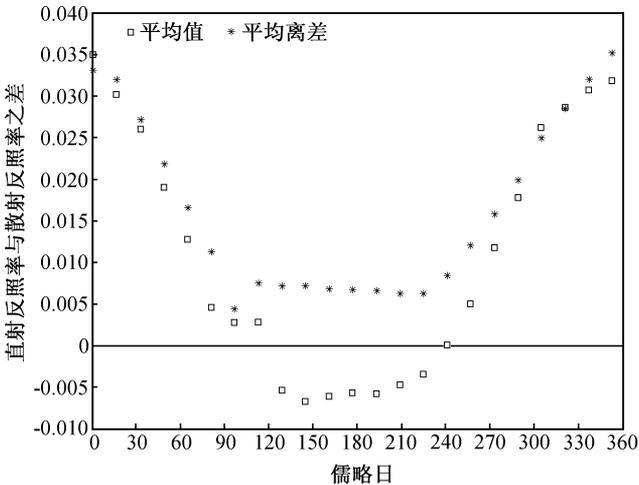


图 1 中国地区直射反照率与散射反照率之差的平均值以及平均离差随时间的变化

3 资料介绍

我们这里所用的资料是 MODIS 陆地科学产品组发布的 2002 年地表双向反射函数参数产品 (MOD43B1), 资料的版本为 4.0^[25]。此次发布的资料为经过验证了的资料, 认为产品精度已经达到要求, 为 MODIS 科学组推荐使用的产品。2001 年 10 月最后一次调整 MODIS 仪器参数后, MODIS 星下点的地理定位精度达到了: 标准偏差为 50 m

(1σ)^[26]。本文使用 2002 年的产品而不使用 2001 的产品主要有两方面的考虑: MODIS 仪器在 2001 年做了多次调整, 同时由于仪器故障 2001 年 6 月没有接收到数据。资料的时间范围是 2002 年整年, 经纬度范围是: (20~50°N, 70~130°E)。

4 卫星资料的地基验证

我们利用改则自动气象站 (AWS) 的地基观测资料对卫星观测到的反照率进行对比验证。观测站 [(32°18'N, 84°03'E), 4420 m] 所在地区是宽广的平原, 地势平坦, 空气干燥, 年平均总降水 300 mm 左右。地表为裸土, 草很少且生存时间短, 没有树。地表土壤属于高寒山区荒漠土和半荒漠草原土, 土层含沙砾高。因此, 改则自动站的太阳短波反照率的观测具有很好的代表性, 可以代表较大面积上的反照率。自动气象站每 5 秒对地表短波入射辐射和反射辐射观测一次, 每小时平均一次, 得到小时平均的反照率。卫星过境时间为当地时间 10:30 左右, 我们应用卫星过境时自动气象站的 60 min 平均值与由卫星反演的反照率进行了对比验证。因为卫星资料的平均周期是 16 天, 我们也对地基自动站观测资料进行了 16 天平均, 结果见图 2。定义卫星观测与地基自动气象站观测的离差为

$$d = \sqrt{\frac{1}{N}(A_{\text{sat}} - A_{\text{aws}})^2}, \quad (3)$$

其中, $N=18$ 为样本数, A_{sat} 和 A_{aws} 分别代表卫星和自动气象站观测到的地表反照率。从图 2 可以看出, 在卫星资料和 AWS 都有资料的时间段内, 二者资料相符较好, 卫星观测到的反射率可以较好地反映反照率随时间的变化趋势。卫星观测的年平均值为 0.27, 地基 AWS 观测的年平均反照率为 0.266, 二者的平均离差 $d=0.049$ 。

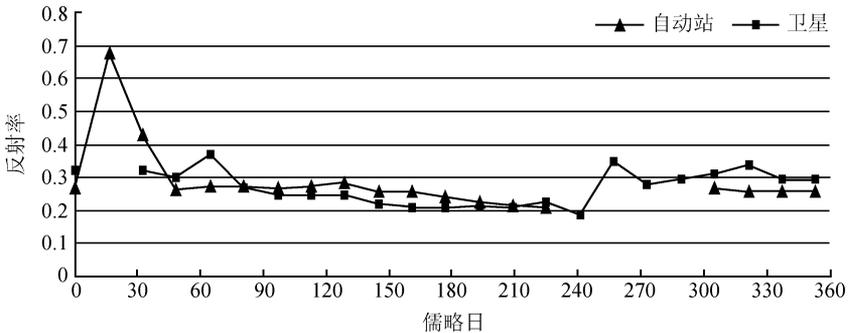


图 2 2002 年改则地区自动气象站地表反照率观测与 MODIS 反演地表反照率的对比
MODIS 地表反照率的平均值为 0.27, 地基观测的平均值为 0.266, 二者的平均离差为 0.049

虽然改则自动站所在的地区为宽广的平原, 地表具有较好的代表性, 但因为地表反照率具有较大的空间变率。我们在青藏高原的验证实验^[27]和 Jin 等^[28,29]在美国的验证实验都表明, 对 1 km 分辨率的反照率 MODIS 反演得到的地表反照率的精确度优于 ± 0.02 。但这并不代表 5 km 分辨率的地表反照率的精度比 1 km 分辨率的差。我们的研究发现, 在复杂地形下, 地形对 1 km 分辨率的反照率的影响较大, 而我国地区地形对 5 km 分辨率的反照率的影响可以忽略^[30]。

5 结果分析与讨论

5.1 年平均

图3(见图版I)是年平均地表反照率图,对比我国海拔高度图[图4(见图版I)]可以看出地表反照率高值中心处于高海拔的山区。图3上部的高值区位于阿尔泰山、杭爱山、肯特山、雅布洛诺夫山脉及阴山山脉、大兴安岭一带,下半部分,天山山脉、喜马拉雅山脉、昆仑山脉也是反照率的高值区;中部的高值区位于祁连山、六盘山、吕梁山一带。从5.2节的讨论可知这些地区的高值主要是因为冬季和春季的地表有积雪。同时,这些地区地表土壤湿度低,高海拔地区大部分时间植被盖度很低。我国中东部地区地表反照率以秦岭为分界线:秦岭以南,反照率在0.1~0.14之间,地表反照率没有明显区域分异,只是云贵高原反照率稍有增大;秦岭以北地区地表反照率要比南方的反照率大,但空间分布较复杂。在吕梁山和太行山之间的黄河流域以及太行山以西地区、燕山以东地区是地表反照率的低值区。我国华北平原和东北平原农田区域的反照率较大,小兴安岭、长白山以及朝鲜半岛的太白山林区的反照率较低。

纯净水体的短波反照率很小,接近于0,我国的远海即是如此。江河携带的泥沙和污染物,以及由此引起的海洋藻类污染可以明显增加海洋的反照率。我国邻海反射率不为0的区域以长江入海口最大,同时反照率的值也较其他区域为大,说明这一地区的水体污染严重。大量的研究表明长江口的污染是中国近海污染最为严重的^[31],这与我们从反照率图上看到的结果是一致的。这说明可以从反照率图中提取出水体,特别是我国近海水体污染状况的信息。

5.2 反照率的季节变化

图5(见图版I)是冬季的地表反照率。对比图4和图3,可以看出图3的反照率高值区与图5的高值区有很好的对应,同时与我国地形(图4)也有很好的对应。高值区反照率一般都大于0.5,很明显这些地表都有积雪覆盖。这说明冬季我国高海拔地区有很大部分被雪覆盖,而中东部广大地区地表反照率要小得多,并且可以看出南北方以长江为分界线,北方的反照率略大于南方的反照率。因为此时北方地表多为裸土或冬小麦,地表植被盖度低,土壤湿度低,而南方仍然有较好的植被分布,土壤湿度高。

春季地表大部分积雪开始融化,地表反照率有明显降低[图6(见图版II)]。春季的地表仍然有明显积雪分布的是:天山山脉、喜马拉雅山脉、横断山脉(图6下部),阿尔泰山及杭爱山一带(图6上部),但积雪面积明显减少。从图6还可以看出,进入春季,中东部地区的反照率都有降低,但华北平原广大的农业区反照率依然很高,与冬季相比反而升高。宁夏黄河灌区的反照率明显比周围的反照率要小,说明此时灌区内农业耕作已经开始,引黄灌溉开始,土壤湿度高,植被开始生长;内蒙古浑善达克沙地反照率要高于周围地区,它的土壤湿度要比其他区域低。同样,柴达木盆地也是一个反照率的高值区。

夏季地表反照率主要受地表土壤湿度以及地表植被覆盖的影响,地表反照率与海拔高度不再具有明显的相关[图7(见图版II)]。夏季的地表反照率的高值主要在沙漠地区(塔里木盆地,柴达木盆地及甘肃、内蒙古沙漠),这些地区土壤湿度小,几乎没

有植被覆盖。对比图 7 和图 9 (见图版 III) 可以看出, 地表反照率与地表类型有较好的对应, 森林上空的反照率低, 长白山、太行山山区的森林反照率都很低。从图 7 还可以看出, 我国的南方农田和北方农田的反照率有较大的差异。这主要是因为 7 月, 华北农田大多处于裸土状态下, 此时春季作物已经收割完毕, 而秋季作物处于幼苗时期, 地表覆盖度低。而南方庄稼的正处于茁壮生长的季节, 地表植被覆盖度高。对比图 8 (见图版 III), 青藏高原上部分地区为裸土和稀疏的灌木, 地表植被覆盖度低, 对应的整个青藏高原是一个地表反照率的高值区。

秋季地表反照率与夏季相似, 只是高值区的面积有所增大。我国中东部大部分地区, 秋季的地表反照率与夏季相当, 说明此时地表仍然有相当高的地表植被覆盖。相对于中东部地区, 青藏高原 (9 月雨季结束, 地表土壤湿度降低, 植被覆盖降低) 的地表反照率秋季较夏季明显增加。对比图 8, 青藏高原上的地表分类大多为裸土和稀疏植被。结合图 6 和图 7 可以看出, 淮河流域的地表反照率是华北平原上的反照率高值区。

5.3 不同地表类型上的地表反照率随时间的变化

从 5.1 和 5.2 节的讨论, 可以知道地表反照率与地表覆盖类型有着密切的联系。我们把 1 km 分辨率的 MODIS 地表分类产品 (MOD12Q1)^[32] 进行地图投影变换, 并转换成分辨率为 0.05° (图 9)。MODIS 采用 IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme, 国际地圈—生物圈计划) 的 17 类地物分类, 采用监督分类的方法^[33] 对 MODIS 地表反射率资料进行分类。这里所用的地表分类产品是利用 2000 年和 2001 年的 MODIS 观测进行分类的结果。

根据地表分类结果, 计算出我国典型地表类型的反照率随时间的变化。由 5.1 和 5.2 节的讨论可以知道, 积雪在冬季在我国广大区域内存在。为了统计各种地表覆盖类型的平均反照率特征, 需要滤除积雪覆盖的情况。因为没有积雪覆盖的区域分布观测, 我们采用一个简单的阈值方法, 认为反照率大于 0.5 时即为积雪覆盖^[29] (表 1)。除常绿针叶林和常绿阔叶林的反射率随时间的变化较小以外, 其他地物类型的反照率都有比较明显的季节变化。地表反照率在春秋季节较大而在夏季较小。春秋季节土壤湿度较小, David 等^[34] 指出地表反照率随土壤湿度的增加而降低, 并且这种变化在土壤含水量小时更剧烈, 因此春秋季节的反照率较小。同时, 春秋季节的植被覆盖度较小, 在总的效应上, 植被的存在降低了地表的短波反照率。夏季的低反照率与春秋季节的高反照率的原因相同, 夏季地表植被覆盖度大, 同时因降水量增加, 土壤湿度也大。

6 小结

利用 MODIS 地表双向反射率分布函数参数产品, 计算了我国晴空地表反照率, 并利用改则地区的地基自动气象站对卫星过境时反照率的观测, 对卫星反演得到的反照率进行了对比验证。验证结果表明, 卫星观测可以较好地监测反照率随时间的变化, MODIS 反照率与地基观测相符较好, 平均离差为 0.049。年平均地表反照率与地表高度有较好的对应关系, 山区地表反照率较高。这主要是因为海拔高的山区冬春季节有积雪分布, 土壤湿度低, 地表植被覆盖度低。我国中东部地区地表反照率以秦岭为分界线, 可以划分为南北两个区域。南方反照率低, 而北方反照率高。夏秋季节, 地表

反照率的分布主要受地表土壤湿度和植被覆盖的影响。通过计算不同地表类型上的平均反照率分布,发现大部分地表类型的反照率具有较大的时间变化,地表反照率在春秋季节较大,夏季反照率较小。

参 考 文 献

- 1 Cess, R. D., Biosphere—albedo feedback and climate modeling, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1978, **35**, 1765~1768.
- 2 Dickinson, R. E., Land surface processes and climate—surface albedos and energy balance, *Advances in Geophysics*, 1983, **25**, 305~353.
- 3 Kiehl, J. T., J. J. Hack, G. B. Bonan et al., Description of the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note NCAR/TN-420+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, 1996, 152pp.
- 4 Shukla, J., and P. A. Dirmeyer, Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation, *Journal of Geophysical Research*, 1994, **99**, 20863~20878.
- 5 Lyons, T. J., Clouds prefer native vegetation. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2002, **80**, 131~140.
- 6 Dorman, J. L., and P. J. Sellers, A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere model SiB. *Journal of Applied Meteorology*, 1989, **28**, 833~855.
- 7 Sellers, P., F. Hall, R. Kelly et al., BOREAS in 1997: experiment overview, scientific results, and future directions. *Journal of Geophysical Research*, 1997, **102**, 28731~28769.
- 8 http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/land_atbd.html; MODIS BRDF/Albedo Product.
- 9 王开存、陈长和、郭锐,用 NOAA/AVHRR 探测地表反射率和 NDVI 的订正及误差分析. *应用气象学报*, 2003, **14** (2), 165~175.
- 10 徐兴奎,长江三角洲地区地表月平均反照率的卫星遥感研究, *大气科学*, 2002, **26** (3), 394~400.
- 11 徐兴奎、刘素红,中国地表月平均反照率的遥感反演, *气象学报*, 2002, **60** (2), 215~220.
- 12 徐兴奎、林朝晖,青藏高原地表月平均反照率的遥感反演, *高原气象*, 2002, **21** (3), 223~237.
- 13 Barnes, W. L., T. S. Pagano, and V. V. Salomonson, Prelaunch Characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. *IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, 1998, **36** (41), 1088~1100.
- 14 刘玉洁、扬忠东等, MODIS 遥感信息处理原理与算法,北京:科学出版社,2001,345pp.
- 15 Vermote, E. F., N. Z. El Saleous, and C. O. Justice, Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results, *Remote Sensing of Environment*, 2002, **83**, 97~111.
- 16 Liang Shunlin, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: I Algorithms, *Remote Sensing of Environment*, 2001, **76**, 213~238.
- 17 Valiente, J., M. Nunez, E. Lopez-Baeza et al., Narrowband to broadband conversion for Meteosat-visible channel and broadband albedo using both AVHRR-1 and-2 channels. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, **16**, 1147~1166.
- 18 Key, J., The cloud and surface parameter retrieval (CASPR) system for polar AVHRR, version 1.0: user's guide. Boston: Boston University, 1996, 20~55.
- 19 Russell, M., M. Nunez, M. Chladiil et al., Conversion of nadir, narrowband reflectance in red and near-infrared channels to hemispherical surface albedo, *Remote Sensing of the Environment*, 1997, **61**, 16~23.
- 20 Stroeve, J., A. Nolin, and K. Steffen, Comparison of AVHRR derived and in-situ surface albedo over the Greenland ice sheet. *Remote Sensing of the Environment*, 1997, **62**, 262~276.
- 21 Liang Sunlin, A. H. Strahler, and C. Walthall, Retrieval of land surface albedo from satellite observations: A simulation study. *Journal of Applied Meteorology*, 1999, **38** (6), 712~725.
- 22 Lucht, W., C. B. Schaaf, and A. H. Strahler, An Algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, **38**, 977~988.

- 23 Vermote, E. F., N. Z. Tanré, J. L. Deuzé et al., Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum: An overview, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1997, **35**, 675~686.
- 24 罗云峰, 中国地区气溶胶光学厚度特征及其辐射强迫和气候效应的数值模拟, 北京大学博士学位论文, 1998.
- 25 <http://edcdaac.usgs.gov/modis/dataproduct.html>
- 26 Wolfe R. E., M. Nishihama, and A. J. Fleig, Achieving sub-pixel geo-location accuracy in support of MODIS land science, *Remote Sensing of Environment*, 2002, **83**, 31~49.
- 27 Wang Kaicun, Liu Jiaomiao, Zhou Xiuji et al., Validation of the MODIS global land surface albedo product using ground measurements in a semidesert region on the Tibetan Plateau, *Journal of Geophysics Research*, 2004, **109**, D05107, doi: 10. 1029/2003JD004229.
- 28 Jin, Y., C. B. Schaaf, F. Gao et al., Consistency of MODIS surface bi-directional reflectance distribution function and albedo retrievals: 1. Algorithm performance, *J. Geophys. Res.*, 2003, **108** (D5), 4158, doi: 10. 1029/2002JD002803.
- 29 Jin, Y., C. B. Schaaf, and C. E. Woodstock, Consistency of MODIS surface bi-directional reflectance distribution function and albedo retrievals: 2. Validation, *J. Geophys. Res.*, 2003, **108** (D5), 4159, doi: 10. 1029/2002JD002804.
- 30 王开存、周秀骥、刘晶淼, 复杂地形对计算地表太阳短波辐射的影响, *大气科学*, 2004, **28**, 625~633.
- 31 潘锋, 长江口水污染急需治理, *科学时报*, 2003年3月17日.
- 32 Friedl, M. A., D. K. McIver, J. C. F. Hodges et al., Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results, *Remote Sensing of Environment*, 2002, **83**, 287~302.
- 33 Schowengerdt, R. A., *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997, 80~95.
- 34 Lobell, D. B., and G. P. Asner. Moisture effects on soil reflectance, *Soil Science Society of American Journal*, 2002, **66**, 722~727.

Retrieval of the Surface Albedo under Clear Sky over China and Its Characteristics Analysis by Using MODIS Satellite Data

Wang Kaicun^{1, 2)}, Liu Jingmiao³⁾, Zhou Xiuji³⁾, and Wang Pucai¹⁾

1) (*Laboratory for Middle Atmosphere and Global Environmental Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

2) (*Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871*)

3) (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract Using MODIS surface albedo product (MOD43B1) of 2002, combining elevation and land cover data, surface albedo under clear sky over China area is computed and its spatial and temporal distribution is analyzed. The ground measurements of albedo at Gêrzê (in the western Tibetan Plateau) are used to validate the satellite data. The result shows that satellite measurement can reflect the trend of surface albedo, and MODIS albedo meets the ground-based measurements well. The year-average albedo is correlative with elevation, and high value center of albedo is corresponding with mountain area. In winter and spring, high value centers of albedo are in mountain area because of the snow cover; and in summer and autumn, deserts become high value centers of albedo because of low soil moisture and low vegetation cover. The temporal variation of albedo of representative land cover types is calculated. The results show that the temporal variation of surface albedo over most land cover is distinct, and the albedo is larger in spring and autumn.

Key words: MODIS; China area; albedo; land cover; elevation

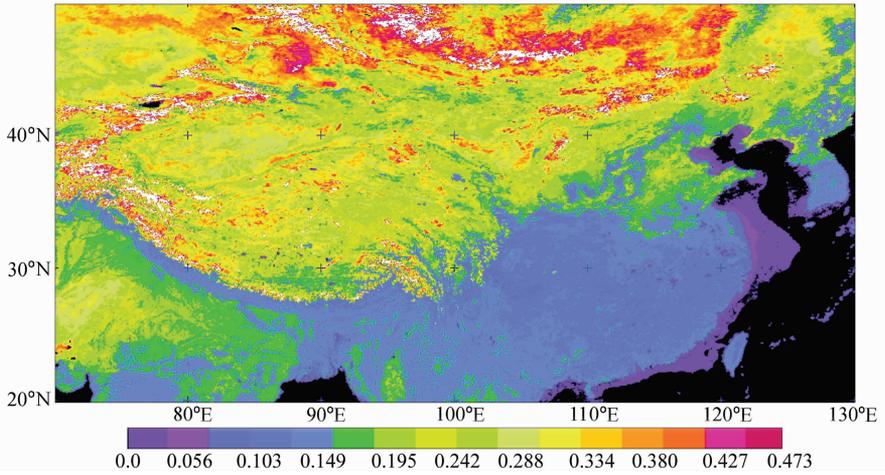


图 3 年平均晴空地表反照率（白色区域代表反照率大于图例标注的最大值 0.473）

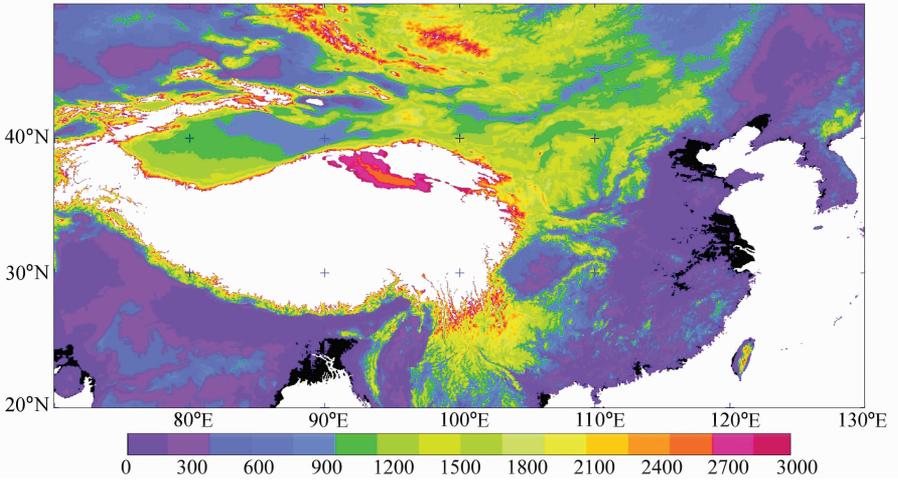


图 4 海拔高度（青藏高原上的白色区域为高度大于图例标注的最大值 3000 m，海域上的白色并不代表海拔的高值）

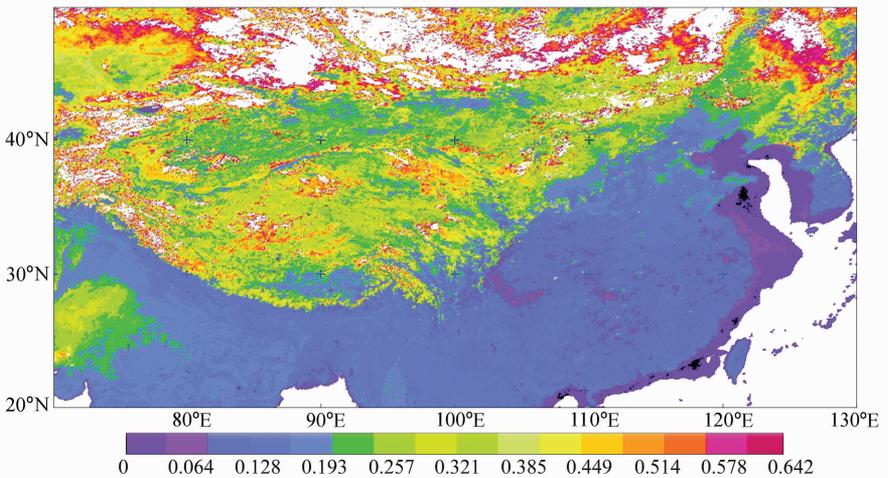


图 5 冬季（1月）晴空地表反照率

（白色区域在大陆上代表反照率大于图例标注的最大值 0.642，在海上代表反照率为 0 的区域）

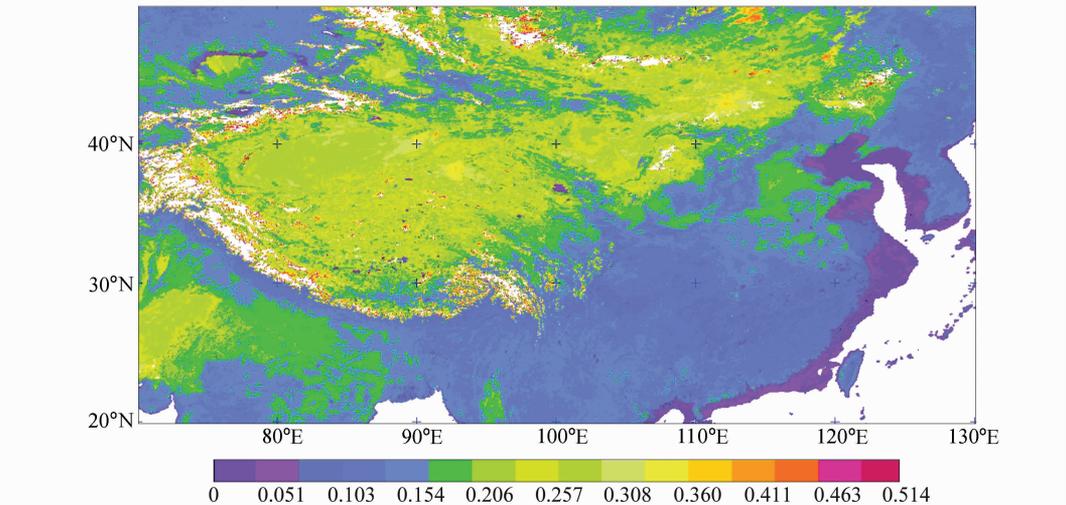


图 6 春季（4 月）晴空地表反照率
(白色区域在大陆上代表反照率大于图例标注的最大值 0.514，在海上代表反照率为 0 的区域)

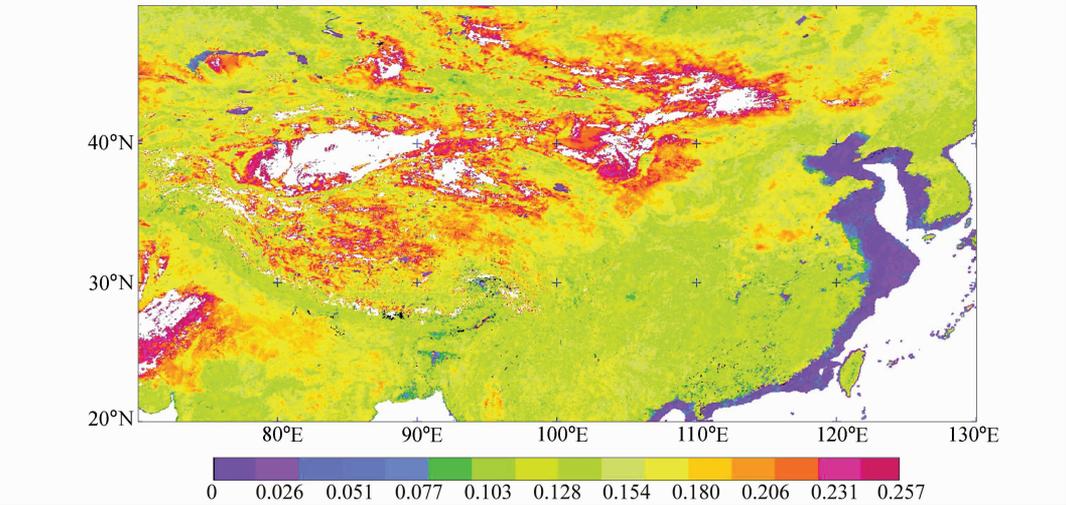


图 7 夏季（7 月）晴空地表反照率
(白色区域在大陆上代表反照率大于图例标注的最大值 0.257，在海上代表反照率为 0 的区域)

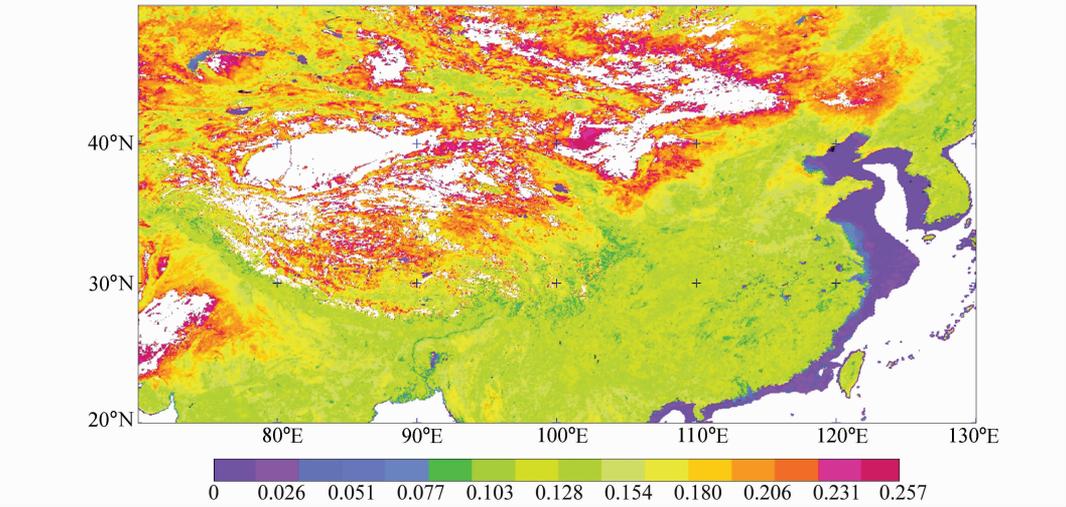


图 8 同图 7，但为秋季（10 月）

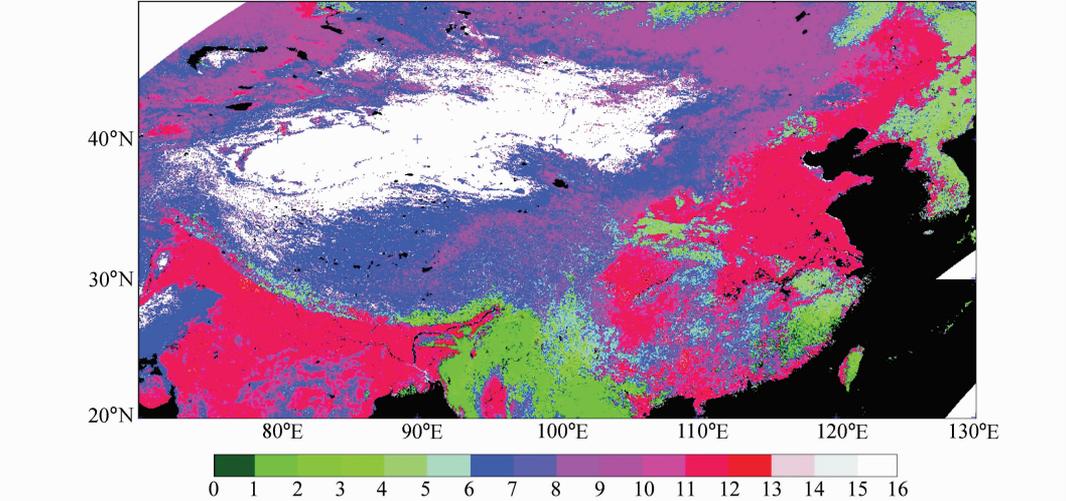


图 9 地表分类（地表分类的数字分别代表：0：水体，1：常绿针叶林，2：常绿阔叶林，3：落叶针叶林，4：落叶阔叶林，5：混交林，6：浓密灌木，7：稀疏灌木，8：稀疏草原，9：草原，10：稀疏草地，11：湿地，12：庄稼，13：城市，14：自然植被，15：常年积雪，16：沙漠或沙地）