

余予, 李扬云, 童应祥, 等. 2009. 寿县地区小麦和水稻田地表反照率观测分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (6): 639–645. Yu Yu, Li Yangyun, Tong Yingxiang, et al. 2009. Observation and analysis of surface albedo of wheat and rice fields in Shouxian region [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (6): 639–645.

寿县地区小麦和水稻田地表反照率观测分析

余予^{1, 2, 5} 李扬云³ 童应祥³ 田红⁴ 陈洪滨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重点实验室, 北京 100029

2 国家气象信息中心, 北京 100081

3 寿县国家气候观测台, 六安 232200

4 安徽省气候中心, 合肥 230061

5 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 利用寿县气候观测台 2007 年 10 月~2008 年 9 月地表反射率观测资料, 分析了农田地表反照率的季节变化, 对比了小麦和水稻在不同生长期的平均反照率, 讨论了天气状况和天气过程对反照率的影响。结果表明, 在小麦和水稻的生长期, 地表反照率变化相似, 均先增大后减小。在作物生长初期, 水稻田平均反照率低于小麦田反照率约 0.02; 中期时, 两者相近; 成熟后, 水稻反照率高于小麦反照率约 0.04。降水过后, 晴空地表反照率减小。

关键词 地表反照率 小麦 水稻 生长期

文章编号 1006-9585 (2009) 06-0639-07 **中图分类号** P422 **文献标识码** A

Observation and Analysis of Surface Albedo of Wheat and Rice Fields in Shouxian Region

YU Yu^{1, 2, 5}, LI Yangyun³, TONG Yingxiang³, TIAN Hong⁴, and CHEN Hongbin¹

1 Key Laboratory of Middle Atmosphere and Global Environment Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 National Meteorological Information Centre, Beijing 100081

3 Shouxian National Climate Observatory, Lu'an 232200

4 Climate Center of Anhui Province, Hefei 230061

5 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract Based on the surface albedo measured from October 2007 to September 2008 at the Shouxian National Climate Observatory, the seasonal variations of farmland albedo are analyzed, the average wheat albedo and rice albedo in each growth stage are compared, and the effects of different weather condition and weather process on albedo are discussed. The results show that the variations of wheat albedo and rice albedo have broadly the same type that both increase to a relatively high level and then decrease. In the early growth stage, the average rice albedo is lower than that of wheat by 0.02, while the two values are approximately equal in the middle growth stage, but the former

收稿日期 2008-11-16 收到, 2009-08-13 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目 40675017 和淮河流域气象开放研究基金 HRM200710 “淮河流域农田下垫面近地层综合观测研究”

作者简介 余予, 男, 1981 年出生, 博士, 主要从事太阳辐射观测与模式计算和地表反照率方面的研究。E-mail: yu_nuist@126.com

becomes higher than the latter by 0.04 when the two crops are mature. After precipitation, diurnal surface albedo under clear sky is less than that observed before the weather process.

Key words surface albedo, wheat, rice, growth stage

1 引言

入射到地球表面的太阳辐射,一部分被地表吸收,另一部分被反射回大气。被吸收的那部分能量将转化成为感热、潜热和地热,这三种热通量的水平梯度会造成地表对大气表层的不均匀加热,随之产生从局地尺度到天气尺度的大气环流,继而促使不同空间尺度的天气和气候现象的发生(Duchon et al., 2006)。因此,地表反照率——地表反射的短波辐射与下行太阳总辐射之比(Stroeve et al., 2005),决定了太阳辐射能在地表和大气间的分配,从而直接或间接地影响区域及全球气候(Dickinson, 1983, 1995)。IPCC 2001 年的报告(Houghton et al., 2001)指出,地表反照率是研究气候变化和辐射强迫机制的一个重要参数,但是由于其在时间和空间上有较大的不确定性,目前对它的认识还有待深入。

某一区域的地表反照率受到地形、下垫面类型、植被覆盖类型等多种因素的共同影响。中国地域辽阔、地形复杂多样,针对不同的典型下垫面反照率,需要做深入细致的分析研究。方宗义等(1996),徐兴奎等(2002a)利用 NOAA-AVHRR 资料,反演了青藏高原月平均地表反照率,并分析了其空间分布和季节变化。蒋熹等(2007)着重分析了唐古拉山多年冻土区夏、秋季节的分光辐射反照率。Wang et al. (2004) 利用位于青藏高原半沙漠区的地面观测资料,对 MODIS 的 16 d 反照率产品进行了验证,结果表明两者具有很好的一致性。杨娟等(2006)基于 MODIS 反照率资料,分析了北京城区及其周边不同地表类型的反照率季节变化。针对西北干旱区和东北半干旱区反照率的日和季节变化的观测研究,也取得了一定成果(Zhang et al., 2004; 王胜等, 2008; 刘辉志等, 2008)。

淮河流域是我国南北气候过渡带,受东亚季风活动影响显著,并且是我国“梅雨”天气系统的主要活动区,降水量变化较大。该地区又是我

国重要农业区之一,农作物种植面积大,作物种类多。人类的农业生产活动改变了地貌,使得地表反照率发生变化,进而会对区域气候产生影响。徐兴奎等(2002b)利用 AVHRR 资料,反演得到中国区域内水稻和小麦的反照率在 0.11~0.23 之间。但是植被的反照率与植被颜色、覆盖率、表面粗糙度等因素密切相关,有必要进一步作细化分析。本文利用中国气象局安徽寿县国家气候观测台 2007 年 10 月~2008 年 9 月的地表反照率观测资料,分析了这一期间农田反照率的季节变化,将小麦和水稻在不同生长、生育期的反照率进行了对比,并讨论了不同天气状况、天气过程(晴天、阴天;降雪、降水)对反照率的影响。

2 观测与资料

2.1 站点概况

寿县国家气候观测台位于安徽省北部沿淮地区,属淮河流域,处于中国气候观测系统(CCOS)确定的黄淮农业生态观测区。1956 年建站初始,被设立为国家基本站,1986 年升格为国家气候基准站,2006 年成为中国气象局批准的全国首批 5 个国家气候观测台试点站之一,并于 2006 年底基本完成建设。1971~2000 年的地面观测资料统计表明,该站点所在区域的年平均气温为 15.0 °C,年平均降水量为 905.4 mm,年平均总日照时数约为 2134.3 h。

本文的研究区域位于寿县国家气候观测台气象观测区以南 6 km 处的气候观测区(32°30.83'N, 116°46.47'E),于 2007 年 7 月建成并开展观测,占地面积约 $1.3 \times 10^4 \text{ m}^2$,下垫面平坦开阔,观测区及其四周均为农作物种植区,稻麦轮作,一年两熟。气候观测区内设有自动气候站、近地面层通量观测系统及生态与农业气象观测系统等。

2.2 观测仪器

观测仪器为 Kipp & Zonen 生产的 CNR1 型净辐射表,该表由两个 CM3 型太阳总辐射表和两个 CG3 型大气辐射表组成。两个 CM3 型表,分别测

量入射的下行太阳总辐射和地表反射的短波辐射;两个 CG3 型表,分别测量来自天空和地面的红外长波辐射,通过 4 个表的观测,可以获知地表面的净辐射能状况。CNR1 表安装在气候观测区内近地面层通量观测塔向正南方伸出的横臂上,距离塔身 2.5 m,距离地面垂直高度为 4 m。

本文着重分析短波地表反照率,因此只利用了两个 CM3 型太阳总辐射表的测值。CM3 型表的视场为 180° ,观测的光谱范围在 $305\sim 2800\text{ nm}$ 之间,灵敏度为 $10\sim 35\text{ }\mu\text{V}\cdot(\text{W}\cdot\text{m}^{-2})^{-1}$,不稳定度的年变化小于 1%。数据采集器用于记录该表观测的辐照度分钟平均值。

2.3 数据资料

本文选用了 2007 年 10 月~2008 年 9 月的短波辐射观测资料,其间包含了完整的一季冬小麦和一季水稻的种植期。为避免 CM3 型表的余弦响应对测值造成的影响,只选取每天太阳天顶角小于 85° 时地表反射辐射和太阳总辐射的观测值(Pirazzini, 2004),分别积分后,两者相除求得日平均地表反照率。塔身对上下两个 CM3 型表的测值都有一定影响,但假设产生的影响较小。

为辅助地表反照率的分析,文中利用了搭载于 NASA Terra 和 Aqua 卫星上的 MODIS 反演的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)和增强型植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI),取自 5.0 版本的 MOD13A1、MYD13A1 产品(<http://lpdaac.usgs.gov/modis/myd13a1v5.asp>;温刚等,2001;Huete

et al., 2002)。NDVI 对叶绿素比较敏感,而 EVI 对冠层结构变化敏感,它使得植被信号达到最优,且保持了对浓密植被状况的敏感性,并减小了大气对观测值的影响(Huete et al., 2002)。对包含观测点的 4 个像元做插值,求得所在点的 NDVI 和 EVI 值。此外还利用了寿县国家气候观测台同期的地面日降水观测资料。

3 结果分析

3.1 农田地表反照率的季节变化

图 1 为 2007 年 10 月~2008 年 9 月寿县观测点农田下垫面的日平均地表反照率以及每 16 天的 NDVI 和 EVI 变化。2007 年 10 月初,水稻刚刚收割完毕,土地显露出来,此时的地表反照率约为 0.17,10 月中旬进行翻耕,这一阶段地表反照率逐渐减小,可能是由于含水量相对较大且颜色较深的土壤被翻耕出来所致,同期的 NDVI 和 EVI 也呈下降趋势。10 月下旬开始播种冬小麦,10 月 30 日左右出苗,此后小麦经历三叶期和分蘖期,11 月底可基本覆盖土地,在这一阶段植被指数逐步升高,反照率也略有增大。小麦分蘖完成后,在冬季生长缓慢。2008 年 1 月 13 日~2 月 9 日,南方经历雪灾天气,在半个多月的时间内地表被较厚的雪层覆盖,观测的反照率明显超过了下垫面反照率值(图 1 中未给出),由于落在 CM3 型表罩上的雪粒使太阳总辐射观测值低于实际值,某些天的反照率甚至超过了 0.9。

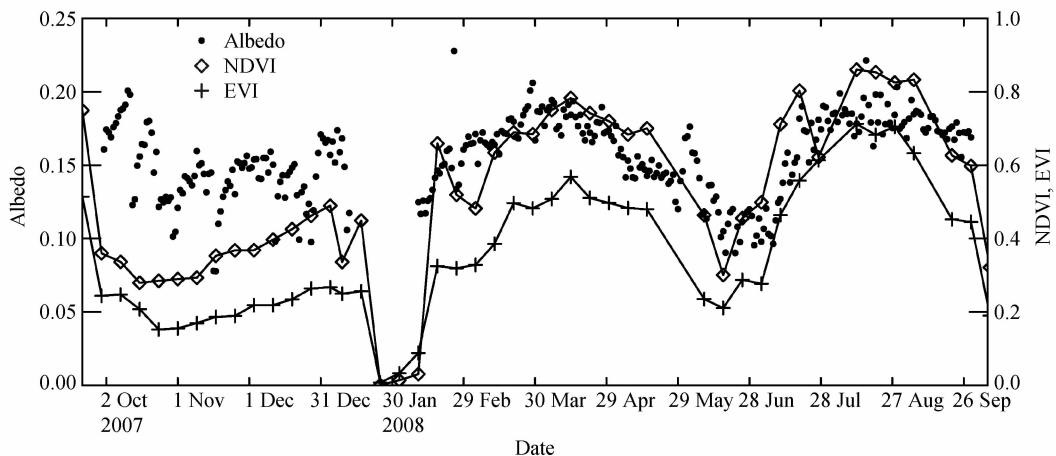


图 1 2007 年 10 月~2008 年 9 月农田地表反照率日平均值以及 NDVI 和 EVI 的变化

Fig. 1 Variations of daily mean surface albedo, NDVI, and EVI of farmland from Oct 2007 to Sep 2008

开春气温回暖后小麦拔节生长, 经过孕穗和抽穗期, 麦穗从旗叶叶鞘中露出, 植被变得更加浓密, 因此在 4 月中旬, 地表反照率与 NDVI 和 EVI 均达到相对最大值。开花授粉后, 麦穗籽粒逐渐长大, 内含物充满乳状浆液, 颖壳呈现黄绿色。5 月下旬小麦成熟后, 80% 以上的籽粒以及颖壳和茎秆都会变黄。这一期间, 地表反照率与两种指数均回落。

6 月上旬对土地翻耕后灌溉准备育秧, 水稻移栽后至分蘖开始前, 秧苗相对稀疏, 且田中有 15~20 cm 高的水层, 因此反照率维持在 0.11 左右, 同期的植被指数也较低。随着拔节期的结束, 水稻高度长到了 85 cm 以上, 地表反照率逐步升高, 并在 8 月初达到最大。成熟期开始后, 反照率下降。

3.2 小麦和水稻不同生长期的反照率比较

图 2a 和 b 分别为小麦和水稻在不同生长期反照率的变化, 生长期的划分均依照对农作物进行物候观测时得到的普遍期而确定。若有超过 50% 的作物进入某一生长长期, 则判定该生长期开始。图 2c 对各阶段反照率的最大值、最小值和平均值做了统计。表 1 给出了这两种作物在生长初期(分蘖期前)、中期(孕穗至抽穗期)和成熟后的地表反照率平均值。

在生长期内小麦和水稻的反照率变化趋势基本一致。前期, 下垫面的反照率以土地(小麦种植期)或水田(水稻种植期)的贡献为主, 翻耕过后的土壤和水田的反照率都相对较低, 但小麦地反照率稍大。在小麦和水稻的分蘖至拔节期, 地表反照率变化最为显著, 图 1 中显示在这一时期(小麦: 2008 年 2 月底至 3 月底; 水稻: 2008 年 6 月底至 7 月底), 两种作物的 EVI 增长较其他时期最为迅速。因此这一时期反照率的显著变化可以归结为, 随着农作物植株密度和高度的增加, 农田表层逐渐被浓密的作物覆盖, 反射特性发生

了很大变化所致。反照率在孕穗至抽穗期达到最大。至成熟期, 在植被颜色和太阳天顶角的共同影响下, 两种作物的反照率下降。

在两种作物完成拔节生长以前, 小麦地的反照率要高于水稻田的反照率, 这主要是因为这一时期稻田中的水层大大降低了下垫面的整体反照率。拔节以后, 水稻的植株高度可以达到 85 cm 以上, 其茎基部的水层对整体反照率的贡献很小, 而此时小麦的植株高度约为 32 cm。在这之后的生长期中水稻植株高度一直大于小麦, 在成熟期后两种作物的叶面和茎秆颜色变化存在差异, 在这些因素和太阳天顶角的共同影响下, 自孕穗期开始后, 水稻反照率一直大于小麦反照率。图 1 中水稻生长后期 NDVI 和 EVI 值均高于小麦生长后期值, 也可以佐证这一结论。

3.3 阴天和降水对地表反照率的影响

图 3 给出了 2008 年 4 月 18~24 日地表反照率和太阳总辐射的日变化, 图中所示的点均为每半小时的平均值。由寿县观象台的观测资料, 19 日和 20 日有两次主要的降水过程, 分别由凌晨 00 时和 02 时(北京时间)左右开始持续至当日中午结束, 日总降水量分别为 45.4 mm 和 39.5 mm。从太阳总辐射的量值和变化可以看出, 4 月 18 日和 24 日是晴或少云的天气, 而 21 日是阴天。在晴天条件下, 均一下垫面的地表反照率日变化成“U”型, 这与一天中太阳天顶角的变化密切相关(刘辉志等, 2008)。在早晨和傍晚时段太阳天顶角较大, 此时观测到的辐射量较小, 易受辐射表余弦效应的影响, 并且地表反照率明显高于中午时段值, 因此以太阳天顶角小于 85°时的测值作为有效观测数据是合理的。在阴天条件下, 除了有一些起伏波动, 地表反照率变化基本成一条直线, 但在早晨和下午小于晴天的观测结果。如果假设在这 6 天中, 处于开花期的小麦在植株形态上变化不大, 24 日地表反照率明显低于 18 日(如图 3 所示), 则可以归因于降水后土壤含水量增大使得下垫面整体反照率下降。观测结果表明, 24 日小麦反照率比 18 日低 0.014。

表 1 小麦、水稻在不同生长期的反照率均值

Table 1 Average wheat albedo and rice albedo in different growth stages

	反照率		
	分蘖期前	孕穗至抽穗期	成熟后
小麦	0.133	0.182	0.135
水稻	0.114	0.186	0.172

4 结论

通过对寿县气候观象台 2007 年 10 月~2008

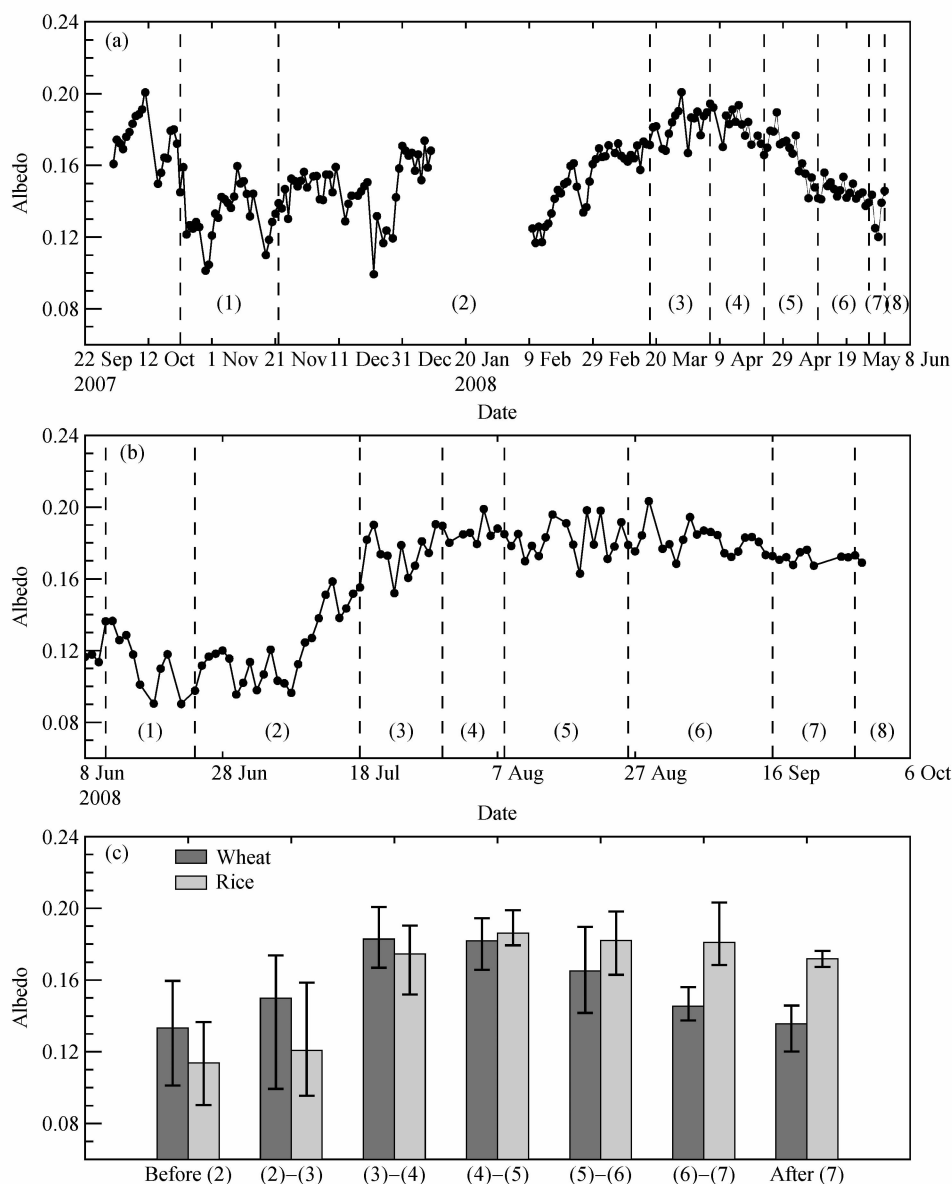


图2 (a) 小麦不同生长期的日平均反照率(去除了2008年1月13日~2月9日地表有雪覆盖的日平均反照率); (b) 水稻不同生长期的日平均反照率; (c) 两种作物的反照率对比。(1) 播种; (2) 分蘖期; (3) 拔节期; (4) 孕穗期; (5) 抽穗期(包含开花期); (6) 乳熟期; (7) 成熟期; (8) 收割

Fig. 2 (a) Daily mean surface albedo in different wheat growth stages (albedos of snow covered surface from 13 Jan to 9 Feb 2008 are excluded); (b) daily mean surface albedo in different rice growth stages; (c) comparison of average albedos between the two kinds of crops. (1) Seeding; (2) tillering stage; (3) elongation stage; (4) booting stage; (5) heading stage (include flowering stage); (6) milky stage; (7) mature stage; (8) harvest

年9月农田地表反照率的分析,可以得到以下主要结论:

(1) 在小麦和水稻的整个生长期内,地表反照率的变化趋势大致相似,即在作物生长初期,地表反照率相对较小,小麦田和水稻田的反照率平均值分别是0.13和0.11,随后逐渐增大;在作

物孕穗至抽穗时,作物生长茂盛且叶绿素含量高,因此地表反照率达到最大;随着作物逐渐成熟,叶面和茎秆颜色变黄,反照率下降。

(2) 在作物生长初期,水稻田平均反照率要低于小麦田反照率约0.02;至作物生长中期,两者相近;自孕穗期后,水稻反照率一直大于小麦

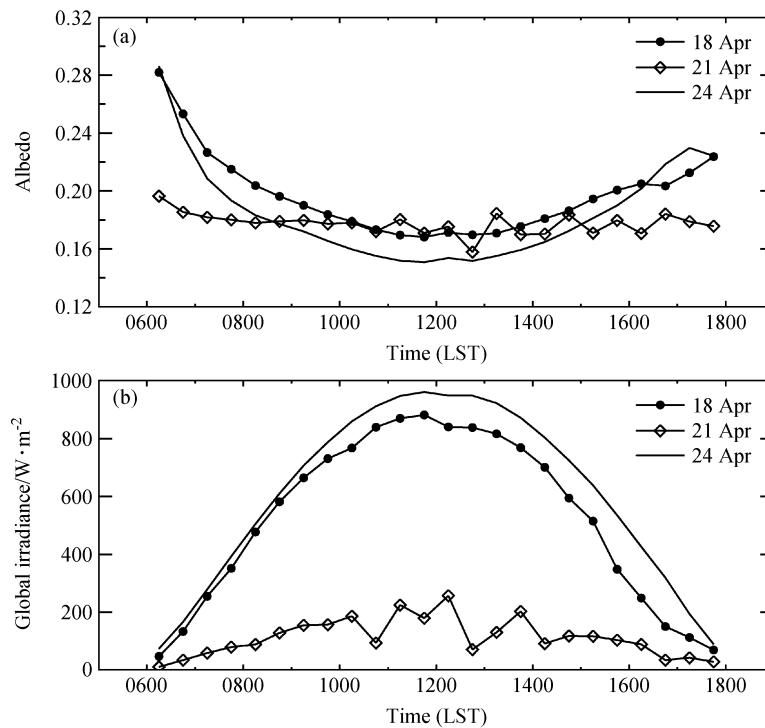


图3 2008年4月18~24日太阳总辐射和地表反照率(半小时平均值)的日变化

Fig. 3 Diurnal variations of half-hourly mean surface albedo and global solar irradiance from 18 Apr to 24 Apr 2008

反照率;作物完全成熟时,水稻反照率比小麦反照率高约0.04。

(3)降水以后,下垫面湿润含水量增大,使得在晴空条件下观测的反照率较降水发生前的反照率小。

致谢 衷心感谢寿县国家气候观象台朱三强工程师对本论文的帮助。

参考文献 (References)

- Dickinson R E. 1983. Land surface processes and climate-surface albedos and energy balance [J]. *Advances in Geophysics*, 25: 305–353.
- Dickinson R E. 1995. Land processes in climate models [J]. *Remote Sens. Environ.*, 51 (1): 27–38.
- Duchon C E, Hamm K G. 2006. Broadband albedo observations in the southern great plains [J]. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 45 (1): 210–235.
- 方宗义, 刘玉洁, 林曼筠. 1996. 青藏高原地表反照率计算研究 [J]. *气象学报*, 54 (5): 580–589. Fang Zongyi, Liu Yujie, Lin Manyun. 1996. The research and calculation of surface albedo over Tibetan Plateau from satellite data [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 54 (5): 580–589.

Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. IPCC Climate Change 2001, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 881pp.

Huete A, Didan K, Miura T, et al. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices [J]. *Remote Sens. Environ.*, 83: 195–213.

蒋熹, 王宁练, 杨胜朋. 2007. 青藏高原唐古拉山多年冻土区夏、秋季节总辐射和地表反照率特征分析 [J]. *冰川冻土*, 29 (6): 889–899. Jiang Xi, Wang Ninglian, Yang Shengpeng. 2007. Analysis of global radiation and surface albedo features in summer and autumn in a permafrost region of Tanggula Range, Tibetan Plateau [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese)*, 29 (6): 889–899.

刘辉志, 涂钢, 董文杰. 2008. 半干旱区不同下垫面地表反照率变化特征 [J]. *科学通报*, 53 (10): 1220–1227. Liu Huizhi, Tu Gang, Dong Wenjie. 2008. Characteristics of surface albedo variations of different underlying surfaces in a semi-arid region [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 53 (10): 1220–1227.

Pirazzini R. 2004. Surface albedo measurements over Antarctic sites in summer [J]. *J. Geophys. Res.*, 109 (D20), doi: 10.1029/2004JD004617.

Stroeve J, Box J E, Gao F, et al. 2005. Accuracy assessment of the MODIS 16-day albedo product for snow: Comparisons with

- greenland in suit measurements [J]. Remote Sens. Environ., 94: 46–60.
- Wang Kaicun, Liu Jingmiao, Zhou Xiujie, et al. 2004. Validation of the MODIS global land surface albedo product using ground measurements in a semidesert region on the Tibetan Plateau [J]. J. Geophys. Res., 109 (D05107), doi: 10.1029/2003JD 004229.
- 王胜, 张强, 张鸿. 2008. 稀疏植被地表反照率及土壤热传导率特征研究 [J]. 中国沙漠, 28 (1): 119–124.
- Wang Sheng, Zhang Qiang, Zhang Hong. 2008. Characteristics of surface albedo and soil heat conductivity in sparse vegetation site [J]. Journal of Desert Research (in Chinese), 28 (1): 119–124.
- 温刚, 符淙斌. 2001. 中国东部季风区植被物候季节变化对气候响应的大尺度特征: 年际比较 [J]. 气候与环境研究, 6 (1): 1–11.
- Wen Gang, Fu Congbin. 2001. Large scale features of the seasonal phenological responses to the monsoon climate in East China: Interannual variations [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 6 (1): 1–11.
- 徐兴奎, 林朝晖. 2002a. 青藏高原地表月平均反照率的遥感反演 [J]. 高原气象, 21 (3): 233–237.
- Xu Xingkui, Lin Zhaozhui. 2002a. Remote sensing retrieval of surface monthly mean albedo in Qinghai-Xizang Plateau [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 21 (3): 233–237.
- 徐兴奎, 刘素红. 2002b. 中国地表月平均反照率的遥感反演 [J]. 气象学报, 60 (2): 215–220.
- Xu Xingkui, Liu Suhong. 2002b. Deriving monthly means surface albedo of China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 60 (2): 215–220.
- 杨娟, 陈洪滨, 王开存, 等. 2006. 利用 MODIS 卫星资料分析北京地区地表反照率时空分布及变化特征 [J]. 遥感技术与应用, 21 (5): 403–406.
- Yang Juan, Chen Hongbin, Wang Kaicun, et al. 2006. Analysis of the surface albedo distribution and variation in Beijing region by using the MODIS data [J]. Remote Sensing Technology and Application (in Chinese), 21 (5): 403–406.
- Zhang Qiang, Huang Ronghui. 2004. Parameters of land-surface processes for Gobi in North-west China [J]. Bound.-Layer Meteor., 110: 471–478.