

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12

内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征

张 果^{1,2}, 周广胜^{1,3,*}, 阳伏林³

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要: 基于 2008 年全年内蒙古荒漠草原的气象观测数据对荒漠草原地表反照率的变化特征分析发现, 内蒙古荒漠草原的地表反照率在晴天呈早晚高、正午前后低的 U 形变化特征, 降水引起的土壤含水量变化将导致地表反照率减小, 云对地表反照率的影响比较复杂。荒漠草原地表反照率的月平均日变化类似于晴天条件下的日变化, 大多数月份呈现早晚高正午前后低的 U 形变化趋势, 仅在 1—2 月份及 11—12 月份呈现 V 形。地表反照率的季节变化较为明显。在生长季, 由于存在植被覆盖使得地表反照率较低; 而在冬季, 地表反照率较高, 特别是 1、2 月份, 其月均值分别为 0.56 和 0.48, 甚至高于沙漠。9 月份地表反照率月均值达到最小值 0.230, 7、8、9 月份地表反照率接近, 分别为 0.236、0.232 和 0.230。而且在生长季, 荒漠草原的地表反照率高于退化草地、农田及麦田, 低于沙漠的地表反照率, 但是荒漠草原的地表反照率除 7—10 月份明显低于沙漠地表反照率外 (相差大于 0.02), 生长季的其他月份与沙漠相差不大。晴天地表反照率随太阳高度角的增大而减小, 当太阳高度角大于 40° 时, 地表反照率趋于稳定, 其与太阳高度角呈指数关系。土壤含水量的增大会导致地表反照率的减小, 地表反照率与土壤含水量呈指数或线性关系。根据地表反照率与这两个因子之间的单因子关系式, 建立了内蒙古荒漠草原晴天地表反照率随太阳高度角与土壤含水量变化的双因子参数化公式, 而且太阳高度角和土壤含水量两者共同解释了地表反照率变化的 68% 左右。该公式可以较好地模拟内蒙古荒漠草原晴天地表反照率的变化。该公式是否可以进一步耦合到天气或气候模式中, 还需要借助更多代表性的观测资料的验证, 但是本研究无疑对陆面模式中地表反照率更准确的参数化及模拟提供了参考依据。

关键词: 地表反照率; 太阳高度角; 土壤含水量; 晴天

Analysis on dynamic characteristics of surface albedo over a desert steppe in Inner Mongolia

ZHANG Guo^{1,2}, ZHOU Guangsheng^{1,3,*}, YANG Fulin³

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

Abstract: Dynamic characteristics of surface albedo over a desert steppe ecosystem in Inner Mongolia were studied in this paper, based on the whole year's meteorological data of 2008. The results indicated that the diurnal variation of surface albedo over the desert steppe in Inner Mongolia presented U-shape with higher values just after sunrise and before sunset, and relatively lower midday values on sunny days. Changes of soil water content resulted from rainfall would result in the decrease of surface albedo, and the influence of cloud on surface albedo was complicated. Usually, monthly mean diurnal variation of surface albedo over the desert steppe ecosystem was similar to that on sunny days with the U-shape, however, it presented V-shape in January, February, November and December. The seasonal variation of surface albedo was apparent. In growing season, surface albedo was lower because of the growth of vegetation; but during the winter, especially in January and February, it was higher. The monthly mean values in January and February were 0.56 and 0.48, respectively, and they were even larger than that of desert. The minimum monthly mean surface albedo of the desert steppe occurred in

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2006CB400502); 国家高技术研究发展计划 (863 计划) (2006AA10Z225); 国家自然科学基金重点项目 (90711001) 共同资助

收稿日期: 2009-11-14; 修订日期: 2010-09-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhou@ibcas.ac.cn

September. The value of the surface albedo was almost a constant from July to September, which was 0.236, 0.232 and 0.230 respectively. In growing season, the surface albedo over the desert steppe in Inner Mongolia was higher than that over degraded grassland, agricultural land and wheat field. Only from July to October, the surface albedo over the desert steppe was obviously lower than that over the desert (the difference value was larger than 0.02). However, in other months of growing season, it was close to the surface albedo over the desert.

On sunny days, the surface albedo decreased with the increase of solar altitude angle, showing a typical exponential relationship, and it almost became a constant when solar altitude angle was more than 40° . The increase of soil water content would result in the decrease of surface albedo. The linear or exponential relationship exists between surface albedo and soil water content. Thus, based on the relationship between surface albedo and solar altitude angle as well as the relationship between surface albedo and soil water content, a two-factor parameterization formula of surface albedo affected by solar altitude angle and soil water content was developed preliminarily. And this formula could explain about 68% of the variation of surface albedo. The parameterization formula could capture well the diurnal variation of surface albedo on sunny days over the desert steppe in Inner Mongolia. This formula should be validated by more representative observation data, in order to couple it into climate models or weather models. However, it is no doubt that this study could offer useful references for the precise parameterization and simulation of surface albedo in land surface model.

Key Words: surface albedo; solar altitude angle; soil water content; sunny day

气候系统主要由地表吸收的能量驱动^[1],地表反照率影响着地表对辐射的吸收以及太阳辐射在地表和大气之间的分配,是大气和陆面模式的重要参数。早在 1969 年,Manabe^[2]采用水桶模式模拟陆面过程时,就考虑了地表反照率、土壤湿度和地表粗糙度等对大气环流的影响。Charney 研究了撒哈拉地区地表反照率的改变对大气环流的反馈作用^[3]。同时,早期大气环流模式中的积雪参数化也主要体现在地表反照率的变化上。为此,国内许多研究者亦通过研究植被覆盖变化探讨了地表反照率变化对气候的反馈作用^[4-8]。

地表反照率对地面加热场有明显的影响,地表反照率取值的合理程度决定了数值模式计算中地面加热作用的准确程度^[9]。通常,在没有积雪或冰覆盖时,地表反照率作为植被类型的函数,并将特定的植被类型地表反照率定义为常数^[10],或者是基于植被地理分布的函数^[11-13]等;裸土的反照率或定义为常数^[10]或定义为土壤颜色和土壤含水量^[14]的函数。当有积雪或冰覆盖时,地表反照率一般定义为雪深或雪龄的函数^[13-16]。目前,大气环流模式在进行日变化模拟时,地表反照率都没有考虑太阳高度角的影响^[1,17-18]。

地表反照率一般由地表土壤颜色、粗糙度长度、植被覆盖、土壤湿度、太阳高度角和天气状况等决定^[19-21]。研究表明,干旱区及沙漠的地表反照率随太阳高度角和土壤含水量而变^[22-25],晴天时大多数植被覆盖的地表反照率都是太阳高度角的函数^[26]。

本研究试图利用 2008 年全年的内蒙古荒漠草原气象观测数据,分析地表反照率的变化特征,探讨晴天地表反照率变化与太阳高度角和表层土壤含水量的关系,以获取包含太阳高度角影响的适于气候模式和天气模式的荒漠草原地表反照率参数化方案。

1 观测资料和研究方法

1.1 研究地点

研究地点位于内蒙古荒漠草原生态系统野外观测站($44^\circ 05' 20''\text{N}$, $113^\circ 34' 27''\text{E}$, 海拔 970 m)。研究地点地势平坦开阔,属于冬季干冷、夏季暖湿的温带干旱-半干旱大陆性气候。最冷月 1 月份平均气温 -22.0°C ,最热月 7 月份平均气温 20.4°C ,年平均气温 3.1°C 。年平均降水量 185 mm,70% 的降水集中在 7—9 月份。优势物种为戈壁针茅(*Stipa gobica*)和多根葱(*Allium polyrrhizum*)。生长季一般为 4 月底至 10 月中旬,植被低矮稀疏,生长盛季植被平均高度约 20 cm,覆盖度在夏季最大时约为 40%。土壤类型为棕钙土。

1.2 观测资料

气象观测资料来自内蒙古荒漠草原生态系统野外观测站的气象梯度观测系统。本研究主要使用的观测量及观测仪器见表 1。常规气象要素和土壤环境要素的采样频率均为 0.5 Hz,由数据采集器 CR23X (Campbell, USA)按 30 min 的步长计算并存储平均值。2008 年全年的气象观测数据完整无缺。

表 1 观测仪器和观测量
Table 1 The instruments and the measured variables

项目 Item	测量高度 Measured height	仪器 Instruments
向下/向上短波辐射和向下/向上长波辐射/(W/m ²) Downward/upward short wave radiation and downward/upward long wave radiation	2.4 m	净辐射传感器(CNR-1,p&Zonen,The Netherlands)
土壤含水量 Soil water content/%	10,20,30,40 cm 深度	土壤水分反射计(ModelCS616,Campbell, USA)
降水量 Precipitation/mm	2 m	自动雨量计(52203,RM Young Inc,Traverse City,USA)

1.3 研究方法

地表反照率通过辐射分量的观测数据计算获得:

$$\alpha = S_u / S_d \tag{1}$$

式中, S_u 为地表反射辐射(即净辐射传感器测定的向上短波辐射); S_d 为太阳总辐射(即净辐射传感器测定的向下短波辐射)。在此使用的数据均为 30 min 平均值。

采用 Marty^[27]提出的方法计算晴天指数(CSI 指数),当 $CSI \leq 1$ 时为晴天,当 $CSI > 1$ 时为云天,从而判断天气状况。由于日出、日落时地表反照率变异较大,在此剔除日出、日落时地表反照率突然增加的观测数据。太阳高度角通过时间、纬度、经度和时角计算^[28]。

2 结果分析

2.1 地表反照率的日变化

图 1 给出了内蒙古荒漠草原地表反照率典型晴天的日变化。可以看出,不同季节荒漠草原地表反照率的日变化趋势一致,均呈早晚高、正午前后低的 U 形变化趋势,在 10:00—14:00(当地时间)之间变化较为平缓。内蒙古荒漠草原的晴天地表反照率日变化与太阳高度角的日变化基本呈相反趋势,即太阳高度角较小时,地表反照率较高,正午前后太阳高度角大时,地表反照率较小。

图 2 给出了降雨过程前后地表反照率的日变化。5 月 8 日为多云天气,地表反照率仍存在早晚高的现象,但是从 10:00(当地时间)地表反照率即开始增加。5 月 9 日中午下雨,对应地表反照率降低,其原因可能是降水后土壤含水量增加导致地表反照率降低。5 月 10 日凌晨及早上都有降水,地表反照率很低,随着太阳高度角增加,地表反照率升高,并在中午前后达到稳定,随后恢复到类似于晴天的变化趋势。5 月 11 日,9:00 及 17:30 分别有 0.1 mm 的降水,其它时段为多云天气,地表反照率仅在降水后有所减小,其它时段变化较为平稳。5 月 8 日与 5 月 11 日均为多云天气,地表反照率都存在一些小波动,但是变化趋势不同,可见云对地表反照率的影响较为复杂。5 月 12 日地表反照率又恢复到晴天的 U 形变化趋势。

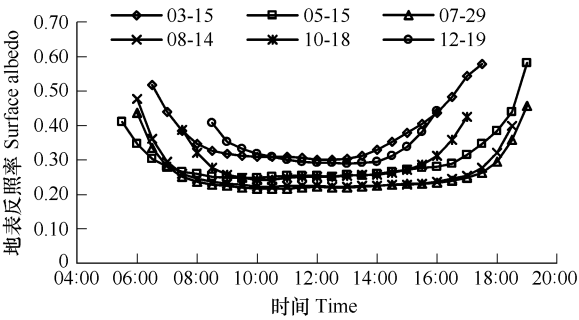


图 1 内蒙古荒漠草原晴天地表反照率的日变化
Fig.1 Diurnal variation of surface albedo on sunny days over the desert steppe in Inner Mongolia

2.2 地表反照率的月均日变化和季节变化

图3给出了2008年内蒙古荒漠草原地表反照率各月平均日变化。可以看出,荒漠草原地表反照率的月平均日变化类似于晴天条件下的日变化,大多数月份呈现早晚高正午前后低的U形变化趋势,仅在1—2月份及11—12月份呈现V形。地表反照率的季节变化较为明显。在生长季,由于存在植被覆盖使得地表反照率较低;而在冬季,地表反照率较高,特别是1、2月份。从内蒙古荒漠草原地表反照率的季节变化可知(图4),地表反照率的日均值在1月21日突然增加,并且维持到2月10日,这是由于降雪造成的^[24-25];2月11日之后地表反照率逐渐减小,一直持续到2月底,表层土壤含水量对应时段的土壤含水量呈增加趋势,表明积雪融化,雪的覆盖度降低,导致土壤含水量增加,从而使得地表反照率降低;随后,地表反照率日均值的变化幅度较小,特别是在生长季,地表反照率日均值的变化较为平稳,6—9月份稍低,11月及12月份出现的地表反照率突然增加同样是降雪引起。

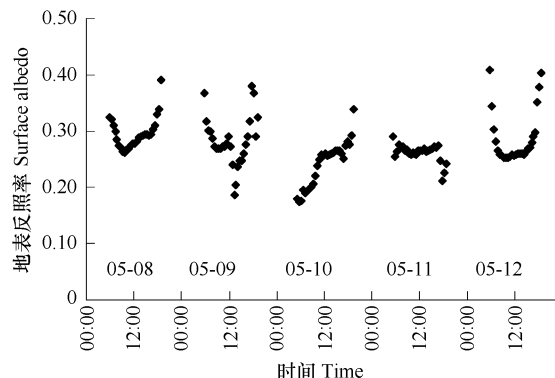


图2 2008年5月8—12日内蒙古荒漠草原地表反照率的日变化(降雨过程)

Fig. 2 Diurnal variation of surface albedo from May 8th to May 12th in 2008 over desert steppe in Inner Mongolia (on rainy days)

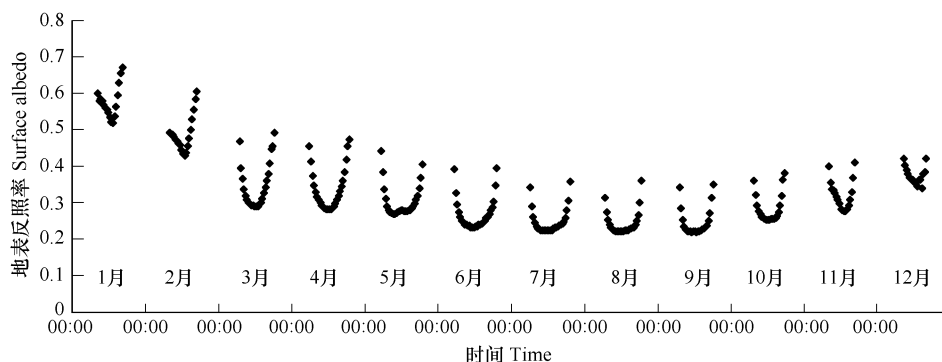


图3 内蒙古荒漠草原地表反照率的月均日变化

Fig. 3 Monthly mean diurnal variation of surface albedo over desert steppe in Inner Mongolia

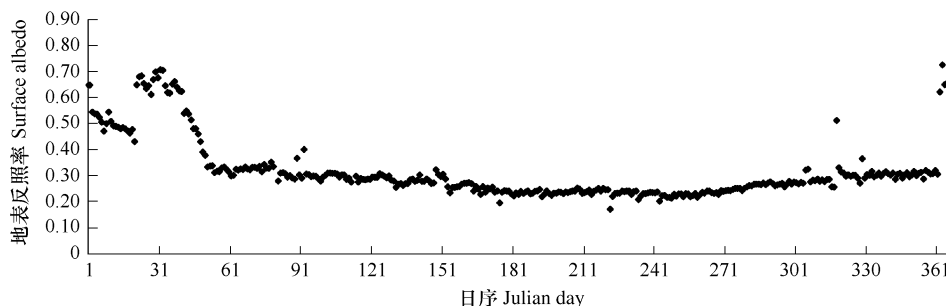


图4 内蒙古荒漠草原地表反照率的季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of surface albedo over desert steppe in Inner Mongolia

表2给出了荒漠草原地表反照率各月的平均值,并列出了其它研究者^[19-20]得到的不同下垫面地表反照率的各月平均值。由于不同研究者所用的观测仪器以及观测方法不同,在此只是简单对比一下它们的变化趋势。从表2可以看出,荒漠草原地表反照率在1—2月份偏高(0.56, 0.48),甚至高于沙漠,这是由于2008年内蒙古荒漠草原出现较大降雪使得地表反照率较高,且由于温度较低,存在冻土,使得地表反照率在3—4月

份也一直维持较高值。4 月底—5 月初植被萌芽,地表反照率逐渐减小,并在 9 月份达到最小值 0.230,5 月(0.287)和 10 月(0.267)的地表反照率相对较高,7、8 和 9 月地表反照率接近,分别为 0.236、0.232 和 0.230。10—12 月份随着植被的枯萎,地表反照率增加。可以发现,在生长季,荒漠草原的地表反照率高于退化草地、农田及麦田(张掖),低于沙漠的地表反照率,但是荒漠草原的地表反照率除 7—10 月份明显低于沙漠地表反照率外(相差大于 0.02),生长季的其它月份与沙漠相差不大,而且荒漠草原的地表反照率明显大于退化草地的地表反照率,反映了荒漠草原的荒漠化程度。

表 2 荒漠草原地表反照率月平均值与其它研究结果^[19-20]的对比

Table 2 Comparison between monthly mean surface albedo over the dessert steppe and those from other studies^[19-20]

测站 Observed stations	1 月 Jan	2 月 Feb	3 月 Mar	4 月 Apr	5 月 May	6 月 Jun	7 月 Jul	8 月 Aug	9 月 Sep	10 月 Oct	11 月 Nov	12 月 Dec
荒漠草原(2008 年) Dessert steppe	0.561	0.476	0.318	0.299	0.286	0.247	0.236	0.232	0.230	0.267	0.303	0.367
退化草地(2005 年) Degraded grassland	0.37	0.31	0.27	0.24	0.22	0.19	0.20	0.22	0.23	—	0.25	0.39
农田(2005 年) Agricultural land	0.36	0.27	0.26	0.26	0.25	0.19	0.18	0.18	0.21	0.21	0.26	—
张掖(1991 年)Zhangye	—	—	0.185	0.162	0.174	0.163	0.144	0.133	0.182	0.175	0.150	0.277
沙漠(1991 年)Dessert	—	0.309	0.288	0.269	0.268	0.255	0.256	0.257	0.279	0.298	0.327	0.369

2.3 内蒙古荒漠草原晴天地表反照率与太阳高度角和土壤含水量的关系

在研究地表反照率与太阳高度角及土壤含水量的关系时,数据处理如下:(1)剔除降水影响的数据;(2)剔除降雪或存在积雪时的数据;(3)由于云对地表反照率的影响较为复杂,剔除有云条件下的数据,只保留晴天条件下的数据。经过处理后,存在有效样本 4474 个。

2.3.1 地表反照率与太阳高度角的关系

地表反照率随太阳高度角的增大而减小(图 5(a)),在太阳高度角大于 40°时,地表反照率变化较为平缓,此时太阳高度角对地表反照率的影响较小,与刘辉志等^[20,24]、Wang 等^[23]的研究结果相一致。

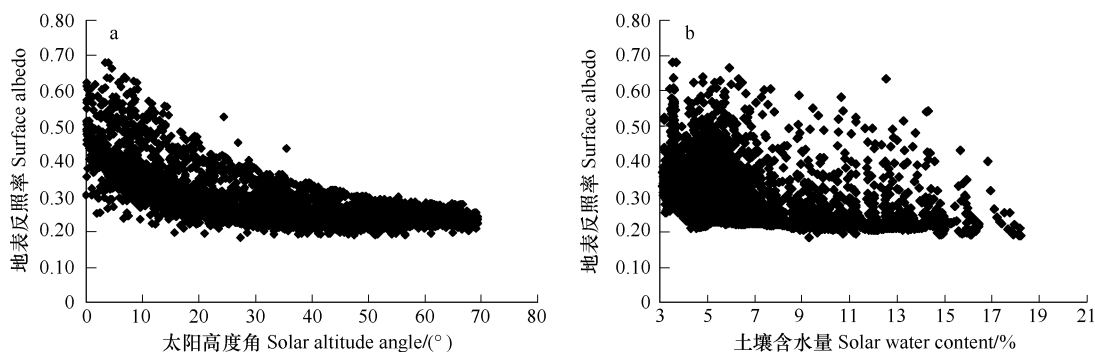


图 5 内蒙古荒漠草原地表反照率随太阳高度角和土壤含水量(10cm)的变化

Fig.5 Changes of surface albedo with solar altitude angle and soil water content at the depth of 10cm over the desert steppe in Inner Mongolia

为分析太阳高度角对地表反照率的影响,需要尽量减少土壤含水量及植被的影响。为此,选取非生长季期间土壤含水量(10 cm 深度)较小且变化幅度也较小的时间段进行研究。在此,选取 2 月 25 日—4 月 15 日及 10 月 16 日—12 月 25 日共 1410 个样本数据,拟合出地表反照率与太阳高度角的指数关系如下:

$$\alpha_1 = 0.2738 + 0.2525e^{-0.0845h_\theta}, R^2 = 0.524 \quad (2)$$

式中, α_1 是地表反照率, h_θ 是太阳高度角(°)。

这一关系与张强等^[21]、刘辉志等^[24]得到的关系式类似,但是关系式的系数不同,这可能与研究的下垫面

类型不同有关。

2.3.2 地表反照率与土壤含水量的关系

内蒙古荒漠草原地表反照率随土壤含水量的增加而减小,但是关系并不是很明显(图 5b)。为了更准确地研究地表反照率与土壤含水量(10 cm 深度)的关系,需要尽量减少太阳高度角的影响。地表反照率随太阳高度角的增加而减小(图 5a),太阳高度角小于 40°时对地表反照率的影响较大,而在大于 40°时地表反照率趋于稳定,即此时太阳高度角对地表反照率的影响较小。所以,选取太阳高度角大于 40°时对应的地表反照率研究其与土壤含水量的关系。由此,得到 1483 个样本数据,拟合出地表反照率与土壤含水量的最优关系式:

$$\alpha_2 = 0.2093 + 0.1522e^{-0.2273w_s}, R^2 = 0.485 \quad (3)$$

同时,基于 Dickinson^[12]提出的裸土地表反照率与土壤含水量的关系: $\alpha_{LBC} = 0.11 + \alpha_0 - 0.4S_{sw}$ (式中, α_{LBC} 是裸土的地表反照率, α_0 是饱和土壤的反照率, S_{sw} 是土壤体积含水量(m^3/m^3))拟合出如下线性关系:

$$\alpha_2 = 0.2871 - 0.00513w_s, R^2 = 0.431 \quad (4)$$

式中, α_2 是地表反照率, w_s 是 10cm 深度土壤含水量(%)。

式(4)的拟合优度稍逊于式(3),但由于其在模式中已得到广泛应用,所以本研究在探讨地表反照率的多因子关系式时,式(4)也在考虑之内。

2.3.3 地表反照率与太阳高度角和土壤含水量的关系

式(2)、式(3)或式(4)考虑的是单因子对地表反照率的影响,但是太阳高度角和土壤含水量(10 cm)共同影响着地表反照率的日变化。利用筛选出的 4474 个有效样本数据,对这两个影响因子进行权重分析(在此,不考虑太阳高度角和土壤含水量间的相互关系), m 、 n 分别为权重系数(式(5))。通过式(2)、式(3)及式(4),对方程(5)整理、合并常数项,最终得到方程(6)或方程(7):

$$\alpha = m\alpha_1 + n\alpha_2 \quad (5)$$

$$\alpha = a + be^{cw_s} + de^{eh_\theta} \quad (6)$$

或

$$\alpha = \alpha_1 - b_1w_s + d_1e^{e_1h_\theta} \quad (7)$$

式中, $a, b, c, d, f, a_1, b_1, d_1, e_1$ 为经验常数。对式(6)及式(7)进行非线性回归拟合分别得到式(8)及式(9):

$$\alpha = 0.2070 + 0.2175e^{-0.3172w_s} + 0.2616e^{-0.0776h_\theta}, R^2 = 0.6810, P < 0.01 \quad (8)$$

或

$$\alpha = 0.2824 - 0.0062w_s + 0.2617e^{-0.0750h_\theta}, R^2 = 0.6713, P < 0.01 \quad (9)$$

图 6 给出了由式(8)及式(9)得到的晴天条件下地表反照率拟合值与观测值的月均日变化,由于 1—2 月份存在积雪的时间较长,在此只给出了 3—12 月份地表反照率的月均日变化。可以看出,两式都很好地反映了地表反照率早晚高正午前后变化平缓的 U 型变化趋势,而且两式拟合效果差异不大。3—4 月份地表反照率的拟合值低于观测值,特别是在下午,偏差明显。5—8 月份地表反照率的拟合效果较好,但是 7 月中旬—8 月上旬拟合值偏高,这与该时段土壤相对较干,而植物正处于生长旺季有关。本研究未能考虑植被对地表反照率的影响。因为颜色越深,物体对可见光波段的太阳辐射的吸收能力就越强,反照率越小,而植物冠面颜色多呈深绿色,而且地表反照率随表面粗糙度增加而减小,所以在生长旺季,地表反照率较小。在 9—10 月份正午前后,地表反照率的拟合值稍微高于观测值,可能是 9 月下旬之后土壤含水量迅速下降引起,而之后基本没有变化,而 3—4 月份土壤含水量存在小的波动,两者的变化过程不同,取用相同的关系式难免存在一定的误差。11—12 月份偏差较小。

图 7 给出了所有有效样本数据与拟合值的关系。可以看出,式(8)及式(9)可以较好地模拟荒漠草原地表反照率变化,且太阳高度角和表层土壤含水量两者共同解释了地表反照率变化的 68.1% 或 67.13%。但当

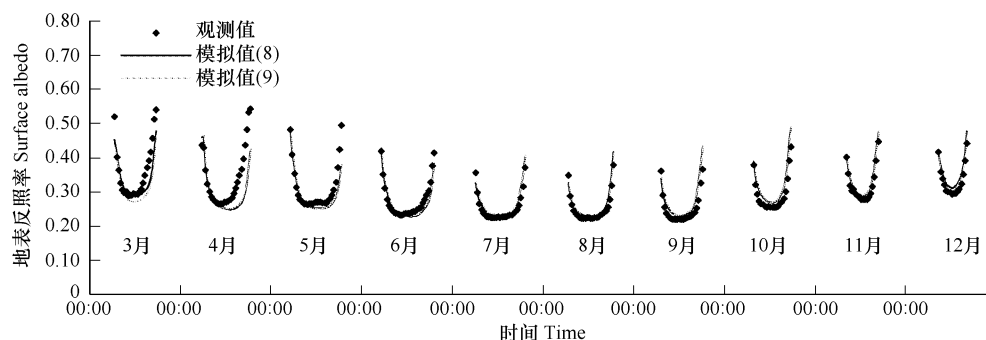


图6 模拟值和观测值月均日变化对比

Fig.6 Comparison between monthly mean diurnal variation of simulated and observed values

地表反照率在 0.50—0.70 范围内时模拟效果不好。从图 1 和图 4 可以看出,0.50—0.70 的地表反照率通常出现在非生长季与日出、日落时段。由于本研究样本已经剔除了日出、日落时地表反照率突然增加的观测数据。这表明,冬季的冻土对地表反照率具有重要影响。

张强等^[23]根据荒漠戈壁观测点 2000 年 8 月—2001 年 9 月的数据拟合得到关系式 $\alpha = 0.20 - 0.00196w_s + 0.090e^{-0.01h_\theta}$ 或者 $\alpha = (1 - 0.0074w_s)(0.20 + 0.090e^{-0.01h_\theta})$, 而且经过与荒漠戈壁观测数据对比,两个关系式拟合结果与观测值的相关系数都是 0.50。而式(8)及式(9)得到的内蒙古荒漠草原地表反照率拟合值与观测值相关系数都在 0.80 以上。

Briegleb 和 Ramanathan 等^[29]提出如下地表反照率的关系式:

$$\alpha(\theta) = \alpha_r \frac{1 + C}{1 + 2C\cos\theta} \quad (10)$$

式中, $\alpha(\theta)$ 是地表反照率, θ 是太阳天顶角, 与太阳高度角互为余角, α_r 是太阳天顶角为 60° 时的地表反照率, C 为经验常数, 草地取为 0.4。选用内蒙古荒漠草原的 4474 个有效样本数据对式(10)进行验证, 从图 7 (c) 可以看出模拟效果明显劣于式(8)及(9) (图 7(a) 及(b))。

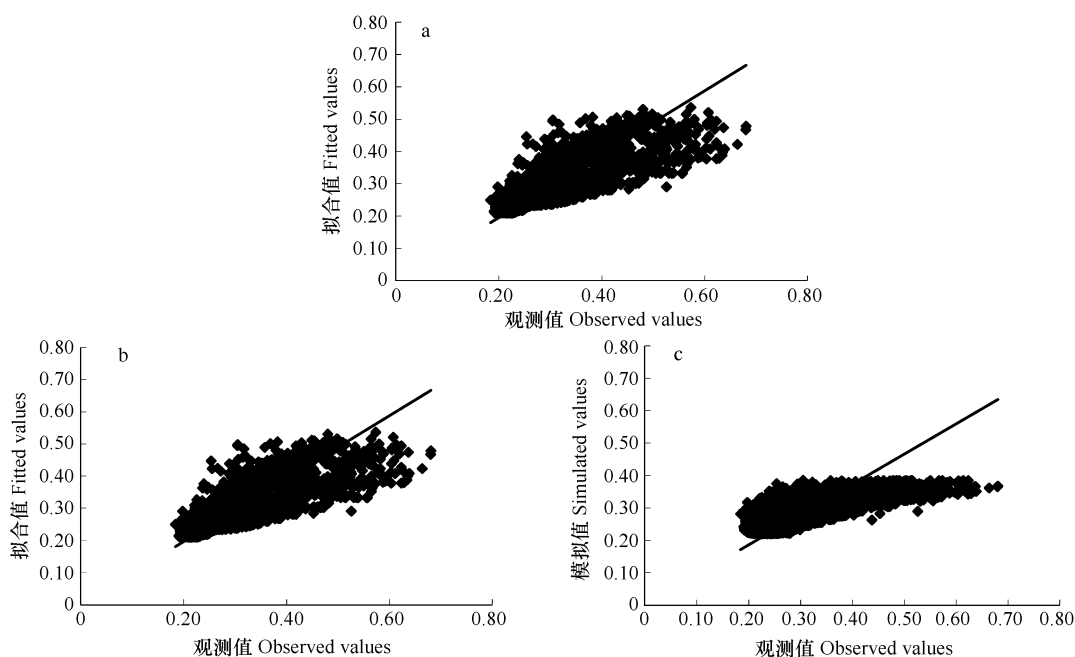


图7 式(8)(a)、(9)(b)、式(10)(c)计算得到的地表反照率和观测值的关系

Fig.7 Relationship between the values calculated by formulae(8)(a)、(9)(b)、(10)(c), and the observed surface albedo

3 结果与讨论

草原生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,研究草原生态系统特别是荒漠草原生态系统的陆-气相互作用对认识草原下垫面对大气的反馈作用,进而了解其在气候变化中的作用至关重要。

本研究分析了 2008 年全年荒漠草原地表反照率的变化特征,以及晴天条件下地表反照率的日变化与太阳高度角和土壤含水量的关系。内蒙古荒漠草原的地表反照率在晴天条件下呈早晚高正午前后低的 U 形变化趋势。地表反照率随土壤含水量的增加而减小,降水引起的土壤含水量增加将导致地表反照率减小。通常认为在有云情况下的地表反照率小于晴天条件下的地表反照率,除非云并未全部遮住太阳^[23],云对地表反照率的影响较为复杂,需要进一步的深入研究。

晴天条件下,地表反照率随太阳高度角的增大而减小,当太阳高度角大于 40°时,地表反照率趋于稳定。地表反照率与太阳高度角存在指数关系,而与土壤含水量呈指数或线性关系,草地、农田和沙漠等也存在类似的关系^[21-26]。晴天条件下,地表反照率与太阳高度角和土壤含水量的双因子关系式中,两者共同解释了地表反照率变化的 68% 左右,可以较好地反映晴天条件下地表反照率的日变化,再现了地表反照率早晚高正午前后低的 U 形变化趋势。对于多数天气气候模式中将地表反照率设定为定值^[10]或者只考虑土壤含水量^[12]或太阳高度角^[29]的参数化公式,晴天条件下内蒙古荒漠草原地表反照率的日变化特征研究及其与太阳高度角和土壤含水量的关系研究,对未来地表反照率更准确的参数化提供了参考依据。

虽然本研究得到的地表反照率双因子关系式可以解释地表反照率变化的 68% 左右,也可以给出地表反照率在晴天条件下的 U 型变化趋势,但是本研究仅使用了 1a 的资料分析地表反照率的变化特征,并以此构建晴天条件下简单的双因子关系式,并未对其进行验证,得到的荒漠草原地表反照率的参数化公式还需借助更多代表性观测试验资料的验证。同时,本研究得到的关系式还没有包含植被、积雪和冻土等的影响。研究表明,地表反照率的日均值变化与叶面积指数也存在关系^[30],所以在研究地表反照率的关系模型时,还需要进一步深入探讨地表反照率的影响因子。

References:

- [1] Herderson-Sellers A, Wilson M F. Surface albedo data for climatic modeling. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 1983, 21 (8): 1743-1778.
- [2] Manabe S. Climate and Ocean circulation. *Monthly Weather Review*, 1969, 97 (11): 739-805.
- [3] Charney J G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1975, 101: 193-202.
- [4] Zheng Y Q, Qian Y F, Miao M Q. The effects of vegetation change on regional climate I: simulation results. *Acta Meteorologica Sinica*, 2002, 60 (1): 1-16.
- [5] Zheng Y Q, Qian Y F, Miao M Q. The effects of vegetation change on regional climate II: mechanisms. *Acta Meteorologica Sinica*, 2002, 60 (1): 17-30.
- [6] Zhang J Y, Dong W J, Fu C B. Impact of land surface degradation in northern China and southern Mongolia on regional climate. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50 (1): 53-58.
- [7] Li Q P, Ding Y H. Research progress in the effect of vegetation change on regional climate. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2004, 27 (1): 131-140.
- [8] Bao Y, Lu S H, Ao Y H, Li Y H, Meng X H, Yang S P, Chen X L. Improvement of surface albedo parameterization over bare soil on surface radiation and thermal progress modeling. *Acta Energiæ Solaris Sinica*, 2007, 28 (7): 775-782.
- [9] Yan H, Wei L, Chen Y C, Li S H, Li Z F, Li L P. Composite estimation of surface albedo and soil moisture content and their impact on the surface diabatic heating. *Plateau Meteorology*, 1987, 6 (2): 255-266.
- [10] Chen F, Dudhia J. Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. *Monthly Weather Review*, 2001, 129 (4): 569-585.
- [11] Posey J W, Clapp P F. Global distribution of normal surface albedo. *Geofisica Internazionale*, 1964, 4: 33-48.
- [12] Dickinson R E, Jaeger J, Washington W M, Wolski R. Boundary Subroutine For The NCAR Global Climate Model. NCAR Tech. Note 0301/78-01, Colorado: National Center for Atmospheric Research, Boulder, 1981: 27-35.
- [13] Hansen J, Russell G, Rind D, Stone P, Lacis A, Ruedy R, Travis L. Efficient three dimensional global models for climate studies: Models I and

- II. Monthly Weather Review, 1983, 111 (4): 609-662.
- [14] Holloway J L Jr, Manabe S. Simulation of climate by a global general circulation model I. Hydrological cycle and heat balance. Monthly Weather Review, 1971, 99 (5), 335-370.
- [15] Koren V, Schaake J, Mitchell K, Duan Q Y, Chen F, Baker J M. A parameterization of snowpack and frozen ground intended for NCEP weather and climate models. Journal of Geophysical Research Atmosphere, 1999, 104 (D16), 19: 19569-19585.
- [16] Robinson D A, Kukla G. Maximum surface albedo of seasonally snow covered lands in the Northern Hemisphere. Journal of Applied Meteorology, 1985, 24 (5): 402-411.
- [17] Ek M B, Mitchell K E, Lin Y, Rogers E, Grunmann P, Koren V, Gayno G, Tarpley J D. Implementation of the upgraded Noah land-surface model in the NCEP operational mesoscale Eta model. Journal of Geophysical Research Atmosphere, 2003, 108 (D22), 8851, doi: 10.1029/2002JD003296.
- [18] Hummel J R, Reck R A. A global surface albedo model. Journal of Applied Meteorology, 1979, 18 (3): 239-253.
- [19] Ji G L, Ma X Y, Zou J L, Lu L Z. Characteristics of the Radiation Budget over Oases in Arid Region. Arid Meteorology, 2003, 21 (3): 29-33.
- [20] Liu H Z, Tu G, Dong W J. Variation characteristics of surface albedo over different underlying surfaces in semi-arid area. Chinese Science Bulletin, 2008, 53 (10): 1220-1227.
- [21] Zhang Q, Wang S, Wei G A. A study on parameterization of local land-surface physical processes on the Gobi of Northwest China. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46 (5): 616-623.
- [22] Wang Z, Barlage M, Zeng X, Dickinson R E, Schaaf C B. The solar zenith angle dependence of desert albedo. Geophysical Research Letters, 2005, 32 (L05403): 1-4.
- [23] Wang K C, Wang P C, Liu J M, Sparrow M, Haginoya S, Zhou X J. Variation of surface albedo and soil thermal parameters with soil moisture content at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau. Bound Layer Meteorology, 2005, 116: 117-129.
- [24] Liu H Z, Wang B M, Fu C B. Relationships between surface albedo, soil thermal parameters and soil moisture in the semi-arid area of Tongyu, northeastern China. Advance in Atmospheric Sciences, 2008, 25 (5): 757-764.
- [25] Idso S B, Jackson R D, Reginato R J, Nakayama F S. The dependence of bare soil albedo on soil water content. Journal of Applied Meteorology, 1975, 14 (1), 109-113.
- [26] Lewis P, Barnsley M J. Influence of the sky radiance distribution on various formulations of the earth surface albedo // Proc. of the Sixth International Symposium, Physical Measurements and Signature in Remote Sensing, Val d'Isere, France, 1994: 707-715.
- [27] Marty C, Philipona R. The clear-sky index to separate clear-sky from cloudy-sky situations in climate research. Geophysical Research Letters, 2000, 27 (17): 2649-2652.
- [28] Sheng P X, Mao J T, Li J G, Zhang A C, Sang J G, Pan A X. Atmospheric Physics. Beijing: Peking University Press, 2003: 88-90.
- [29] Briegleb B P, Minnis P, Ramanathan V, Harrison E. Comparison of regional clear sky albedos inferred from satellite observations and model calculations. Journal of Climate and Applied Meteorology, 25: 214-226.
- [30] Li S G, Eugster W, Asanuma J, Kotani A, Davaa G, Oyunbaatar D A, Sugita M. Energy partitioning and its biophysical controls above a grazing steppe in central Mongolia. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 137 (1/2): 89-106.

参考文献:

- [4] 郑益群, 钱永甫, 苗曼倩. 植被变化对中国区域气候的影响 I: 初步模拟结果. 气象学报, 2002, 60(1): 1-16.
- [5] 郑益群, 钱永甫, 苗曼倩. 植被变化对中国区域气候的影响 II: 机理分析. 气象学报, 2002, 60(1): 17-30.
- [6] 张井勇, 董文杰, 符淙斌. 中国北方和蒙古南部植被退化对区域气候的影响. 科学通报, 2005, 50(1): 53-58.
- [7] 李巧萍, 丁一汇. 植被覆盖变化对区域气候影响的研究进展. 南京气象学院学报, 2004, 27(1): 131-140.
- [8] 鲍艳, 吕世华, 奥银焕, 李耀辉, 孟宪红, 杨胜朋, 陈学龙. 反照率参数化改进对裸土地表能量和热过程模拟的影响. 太阳能学报, 28 (7): 775-782.
- [9] 颜宏, 魏丽, 陈玉春, 李素华, 李作芳, 李兰萍. 地表反照率和土壤含水量的综合估算及其在地面加热场计算中的影响. 高原气象, 1987, 6(2): 255-266.
- [19] 季国良, 马晓燕, 邹基玲, 吕兰芝. 黑河地区绿洲和沙漠地面辐射收支的若干特征. 干旱气象, 2003, 21(3): 29-33.
- [20] 刘辉志, 涂钢, 董文杰. 半干旱区不同下垫面地表反照率变化特征. 科学通报, 2008, 53(10): 1220-1227.
- [21] 张强, 王胜, 卫国安. 西北地区戈壁局地地面物理参数的研究. 地球物理学报, 2003, 46(5): 616-623.
- [28] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 张霭琛, 桑建国, 潘乃先. 大气物理学. 北京: 北京大学出版社, 2003: 88-90.

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元