

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

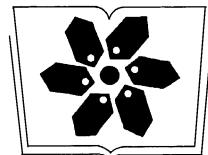
生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 2014

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

(SHENTAI XUEBAO)

第34卷 第2期 2014年1月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 龚冬琴, 吕军 (239)
下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 许建平, 张小萍, 曾波, 等 (258)
赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 周进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 王家利, 王芳 (282)
臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 列淦文, 叶龙华, 薛立 (294)
啮齿动物分子系统地理学研究进展 刘铸, 徐艳春, 戎可, 等 (307)
生态系统服务制图研究进展 张立伟, 傅伯杰 (316)

个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 向芬, 周强, 田向荣, 等 (337)
小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 王冀, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
 K^+ 、 Cr^{6+} 对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 胡煜峰, 严涛, 曹文浩, 等 (353)
马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 李超, 彭赫, 程登发, 等 (359)

种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 孙鹏飞, 单秀娟, 吴强, 等 (367)
黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 康婷婷, 高苹, 居为民, 等 (410)
1961—2010年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 曹阳, 杨婕, 熊伟, 等 (421)
黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 张丽娟, 姜春艳, 马骏, 等 (430)
松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 刘纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 徐建文, 居辉, 刘勤, 等 (460)

- 我国西南地区风速变化及其影响因素 张志斌, 杨 莹, 张小平, 等 (471)
青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 曹生奎, 陈克龙, 曹广超, 等 (482)
基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 曹黎明, 李茂柏, 王新其, 等 (491)

研究简报

- 荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 刘任涛, 柴永青, 徐 坤, 等 (500)
跨地带土壤置换实验研究 靳英华, 许嘉巍, 秦丽杰 (509)
SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例
魏 冲, 宋 轩, 陈 杰 (517)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-01



封面图说: 高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家, 主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣, 但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量和生产力的最重要贡献者, 也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示, 水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子, 光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304300871

王龔,田庆久,孙绍杰,魏宏伟.小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应.生态学报,2014,34(2):345-352.

Wang Y, Tian Q J, Sun S J, Wei H W. Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 345-352.

小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应

王龔^{1,2}, 田庆久^{1,2,*}, 孙绍杰^{1,2}, 魏宏伟^{1,2}

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息技术重点实验室, 南京 210023)

摘要:利用 LAI-2000 植物冠层分析仪和 ASD 光谱仪,通过固定点拔节期冬小麦叶面积指数(LAI)观测实验和同步光谱辐亮度实验,测量了晴天条件下,固定点冬小麦从中午至傍晚 24 个不同时刻的 LAI 值及对应的辐亮度。继之分析了此段时间内测得的定点冬小麦 LAI 值分别与对应时刻可见光和近红外谱段的天空光辐亮度、总辐亮度和太阳直射辐亮度值之间的相关性。结果表明,无论波长小于 490nm 的谱段,还是波长大于 490 nm 的谱段,LAI 与天空光辐亮度、总辐亮度和太阳直射辐亮度都呈负相关,相关系数(R^2)高达 0.8 左右;尤其 LAI 与天空光辐亮度的负相关性最高,这种相关性随着波长的增大而减小。LAI 与各谱段天空光辐亮度的相关性特征可为 LAI-2000 晴天观测的 LAI 值归一化修正处理提供一种新思路和技术途径,以消除太阳直射光的影响,从而解决 LAI-2000 只能在晴天观测的局限性,拓展 LAI-2000 在晴天观测条件下的适用性。

关键词:LAI-2000; 冬小麦; LAI; 辐亮度; 光谱

Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance

WANG Yan^{1,2}, TIAN Qingjiu^{1,2,*}, SUN Shaojie^{1,2}, WEI Hongwei^{1,2}

1 International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

2 Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210023, China

Abstract: The radiance from the sun and the sky is varying with solar altitude angle, and the solar altitude angle is varying with time. That is to say the radiance is varying with time. The LAI-2000 measures the canopy light interception at five view angles using a “fisheye” optical sensor. From all the above, it can be inferred that the LAI is related to the radiance. And then, a fixed plot observation experiment of winter wheat was conducted from 12:15 to 17:40 on sunny with LAI-2000 plant canopy analyzer and ASD spectrometer to explain that inference. In this experiment, the wheat LAI and the radiance were measured continuously at 24 different moments which were corresponding to 24 different solar altitude angles. And then the wheat LAI measured at different moments was computed with FV-2200. The total radiance and sky radiance was got by ASD spectrometer. After that, the direct solar radiance was got by the total radiance subtracting the sky radiance. Next, the radiance in 380—430 nm spectrum region, 430—470 nm spectrum region, 470—490 nm spectrum region, 500—560 nm spectrum region, 620—760 nm spectrum region and 760—1000 nm spectrum region were extracted. At last, the correlation between wheat LAI and the sky radiance, the total radiance and the direct solar radiance was separately analyzed at different spectrum regions. The results of the study showed that either in spectrum regions below 490 nm or above 490 nm, the R^2 between LAI and the sky radiance, the total radiance and the direct solar radiance were all high which were up to 0.8. In addition, the R^2 between LAI and the sky radiance was highest among each spectrum regions, while the R^2 between LAI and the direct solar was lowest. Moreover, the R^2 between LAI and the sky radiance decreased with the increasing of

基金项目:高分应用技术中心实验证先期攻关资助项目(30-Y20A01-9003-12/13); 全球变化研究国家重大科学研究计划项目课题资助项目(2010CB951503)

收稿日期:2013-04-30; **修订日期:**2013-08-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tianqj@nju.edu.cn

wavelength, while the R^2 between LAI and the total radiance and the direct solar radiance increased with the increasing of wavelength. And the results of the study also showed that LAI-2000 would be affected greatly by the direct sunlight and caused large error on sunny condition. Therefore, it is necessary that the LAI measured on sunny condition should be corrected. This research provided a thought and a technological approach for the normalization and correction of the LAI measured with LAI-2000 on sunny condition. And then the influence of the direct sunlight could be eliminated, which was benefit of getting over the limits of weather condition for LAI-2000's use, and the suitability of using LAI-2000 under sunny condition could also be expanded.

Key Words: LAI-2000; winter wheat; LAI; radiance; spectrum

叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)通常定义为单位地表面积上的叶子表面积总和的一半^[1]。作物叶面积指数是反映作物长势和预报作物产量的一个重要农学参数^[2],准确获取该数据,可以为作物长势监测、作物识别、单产预测甚至粮食产量的估算提供有效的数据源^[3-4]。太阳辐射是地球大气系统最重要的能量来源,对小麦、水稻等作物的生长发育起着重要的作用,辐亮度是太阳辐射能量的表征,因此研究辐亮度及 LAI 的动态变化及两者的关系,对作物的种植培育等具有指导意义。

目前国内外的研究,很多都是研究植被 LAI 的季节变化或年变化等长时间序列变化趋势,如孙建文等^[5]和 Wasseige 等^[6]的研究等;或者只是研究太阳辐射季节变化或年变化等长时间序列变化趋势及日变化等短时间变化趋势,如 Kevin 等^[7]和 Ali 等^[8]的研究;或者研究植被冠层其他理化参数如消光系数等的短时间变化特征,如王谦等^[9]的研究;而针对短时间内植被 LAI 与对应时刻的太阳辐射的关系研究较少。

本研究以拔节期冬小麦为研究对象,进行固定点冬小麦 LAI 晴天观测实验和同步光谱辐亮度观测实验。研究了晴天从中午至傍晚序列观测的 LAI 值与对应各时刻各谱段辐亮度的相关性。研究分析了 LAI-2000 观测的小麦 LAI 对总辐射亮度、直射光辐亮度和天空光辐射亮度的响应特征,可为晴天观测 LAI 值进行归一化修正处理提供新的思路和途径。

1 地面观测实验

本实验测量时间为 2012 年 3 月 31 日 12:15—17:40,测量地点位于安徽省滁州市来安县水口镇空旷的麦地一固定点($32^{\circ}18'43.87''$; $118^{\circ}26'22.32''$),此麦地的冬小麦品种是扬麦,株型是直立型。当天

大气稳定,晴朗无云,能见度 20 km 以上。

地面观测实验包括两部分:定点冬小麦 LAI 观测和定点附近地面光谱辐亮度观测。两部分观测实验同步进行,每隔 10—20 min 同步采集一次光谱数据和 LAI 数据。

1.1 定点冬小麦 LAI 观测实验

本实验使用美国 LI-COR 公司生产的 LAI-2000 植物冠层分析仪测量拔节期小麦 LAI。LAI-2000 使用一个“鱼眼”镜头将半球视野范围内的光线折射到光电感应器上,感应器被分为 5 个同心圆环,当光线折射到感应器上时,每一个感应器所检测的角度范围都不同,它们所检测的光线是经过过滤的,只对波长小于 490 nm 的光线响应——因为在这个范围里的光线受叶片的反射及折射最小^[10]。滤光片使得叶簇相对其光亮的天空背景,表现为黑色,每个感应器的输出值即 B 值与环带上被天空光照亮部分即 A 值呈比例的。测量中采取 A 值(天空光)、B 值(冠层下方)分开测量,然后经过计算即可得到 LAI 值。

为了提高观测精度,在空旷的麦地里,选择冬小麦长势均匀、密度高且均匀的平坦样地^[11]。以定点($32^{\circ}18'43.87''$; $118^{\circ}26'22.32''$)为基准点,将 LAI-2000 的光学探头水平放置,然后用小木桩将探头位置固定下来。每隔 10—20 min 测量 1 次,每次都是先将探头抬到约 1 m 高度,确保鱼眼镜头水平,测量 1 个 A 值,然后迅速将探头水平放置在之前固定的位置,连续测量 2 个 B 值,两者经运算后即可得到 LAI 值。

测量过程中应注意:(1)测量时使用 270°的遮盖帽;(2)测量时保持鱼眼镜头水平;(3)背对阳光进行测量,遮挡住阳光和操作者本身;(4)对小麦冠层进行遮阴处理。

1.2 地面光谱观测实验

本实验采用从美国引进的背挂式 ASD FieldSpec-FR 地物光谱仪,具有较高的抽样间隔和光谱分辨率,采样速度快、操作简单、存储容量大等特点,该仪器通过软硬件自动为每个测量光谱实现暗光谱更新,其主要技术指标见表 1。仪器探头视场角有 25° 和 5° ,本次实验采用 5° 探头,以防止探测范围超出参考板而对结果造成影响,实验状况如图 1 所示。测量要求在大气比较稳定的时段内,每个测量过程分为两部分,包括用挡板挡住太阳直射辐照的漫射辐亮度和在无遮挡的情况下总辐亮度,后者与前者之差即太阳直射光谱辐亮度。

表 1 ASD FieldSpec-FR 地物光谱仪的主要性能指标

Table 1 The main performance index of ASD FieldSpec-FR spectrometer

项目 Item	指标 Index
探测器 Detector	350—1050 nm, 低噪声 512 阵元 PDA; 1000—1800 nm 及 1800—2500 nm, 两个 INGaAs 探测器单元
波长范围 Wavelength range	350—2500 nm
光谱分辨率 Spectral resolution	350—1050 nm 为 3.5 nm; 1000—2500 nm 为 10 nm
光谱采样间隔 Spectrum sampling interval	350—1050 nm 为 1.4 nm; 1000—2500 nm 为 2 nm
采样频率 Sampling frequency	10 次/s

在冬小麦 LAI 观测实验的定点($32^{\circ}18'43.87''$;
 $118^{\circ}26'22.32''$)附近空旷地方,先将仪器按图 1A 架好,将参考板平放在地面上,探头固定在三角架上,调整探头方向使其垂直于参考板所在平面,自然光照射时测量 1 次总辐亮度,记为 E;然后迅速用挡板遮住太阳直射光使阴影盖过参考板(图 1B),再测 1 次太阳漫射辐亮度,记为 Es;两者之差 E-Es 即太阳直射光谱辐亮度,每隔 10—20 min 重复 1 次上述实验。

测量过程中应注意:(1)保持探头不动,以防改变光线进入探头的入射角;(2)每次测量记录 5 条光谱曲线(每隔 0.1 s 采集 1 条曲线),计算时取 5 条曲线的平均值,以避免偶然误差对结果的影响;(3)测量人员应着深色衣服,并尽可能远离参考板;(4)测量地点应选择远离高层建筑物的空旷地。

2 数据处理

2.1 定点冬小麦 LAI 数据处理

将每次测量的 2 个 B 值分别与本次测量的 A 值

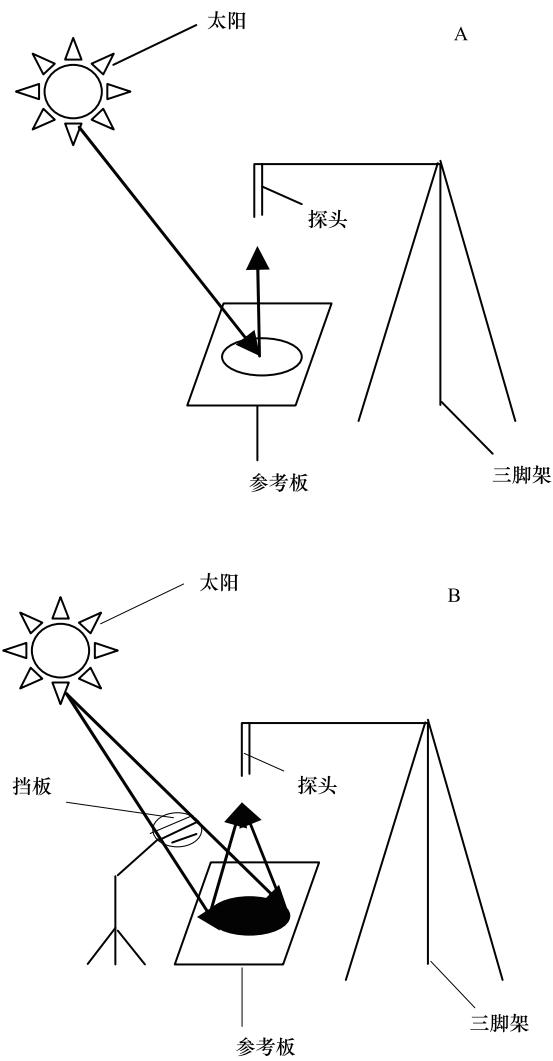


图 1 光谱观测实验示意图

Fig.1 Diagram of the spectrum experiment

配对计算得到 2 个 LAI,然后取平均作为该时间点对应的定点冬小麦 LAI 值。考虑到天顶角最大的 A 值第 5 圈数据可能存在地物遮挡影响,以及相对严重的蓝光多次散射影响,本研究仅用 LAI-2000 的 1—4 圈数据计算 LAI。计算结果如表 2。由于定点冬小麦 LAI 测点及其附近的小麦长势较好,且处于拔节期,因此 LAI 值较大。此外,由表 2 可知不同时刻测得的 LAI 也有一定的差异。

2.2 地面辐亮度数据处理

将每次测量的 5 条辐亮度曲线取平均,作为最终对应的辐亮度值。经处理后的总辐射亮度、天空光辐射亮度和两者之差即太阳直射辐亮度分别如图 2 所示。然后分别计算出紫光谱段(380—430 nm)、

蓝光谱段(430—470 nm)、青光谱段(470—490 nm)、绿光谱段(500—560 nm)、红光谱段(620—760 nm)

和近红外谱段(760—1000 nm)的辐亮度。

表 2 每次测量对应的时间(time)和叶面积指数(LAI)

Table 2 Times and LAI for each measurement

时间 Time	叶面积指数 LAI	时间 Time	叶面积指数 LAI	时间 Time	叶面积指数 LAI	时间 Time	叶面积指数 LAI
12:18	5.66	13:55	6.03	15:38	6.74	16:52	6.84
12:38	5.44	14:11	5.97	15:52	6.58	17:06	7.52
12:56	5.99	14:33	5.51	16:08	6.67	17:14	7.94
13:15	5.80	14:51	6.26	16:19	6.51	17:24	7.26
13:25	5.57	15:07	6.29	16:31	6.72	17:31	7.78
13:40	5.85	15:25	5.98	16:41	7.04	17:38	7.69

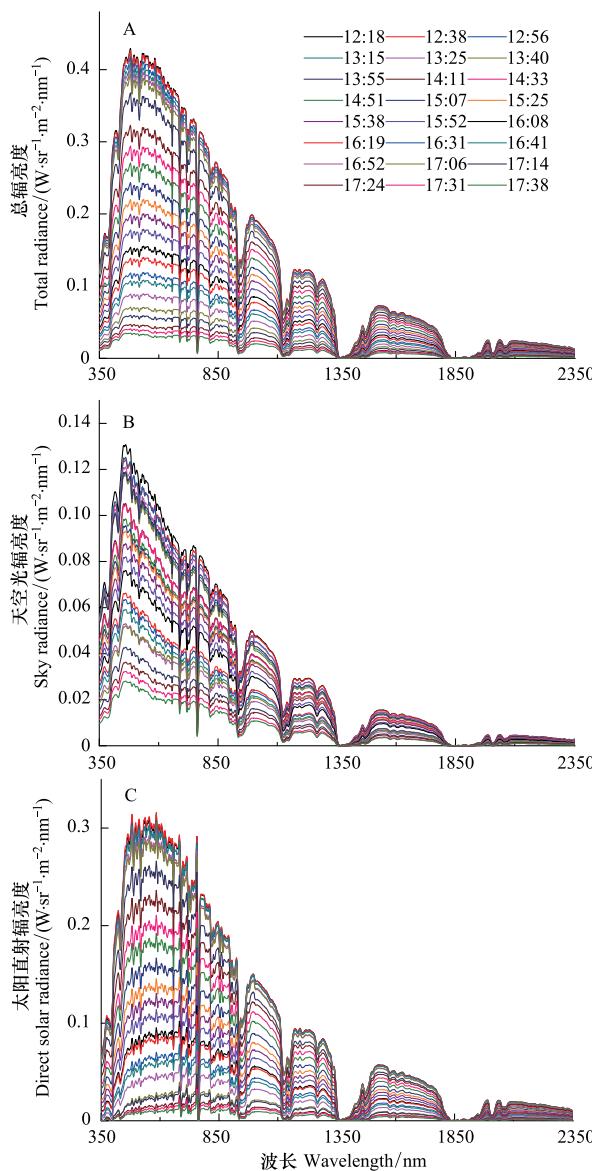


图 2 不同时刻辐亮度

Fig.2 The radiance at different moments

由图 2 可知,太阳光谱的峰值波长在一天中随

着时间变化有规律地移动,这与杨希峰^[12]等的研究结果是一致的。总体上,从中午到傍晚,三者均在不断减小,除了强吸收部分,三者在可见光波段较大,随着波长增大,三者均变小,至 2350 nm 处几乎为 0。

3 结果与分析

LAI-2000 植被冠层分析仪的基本测量原理是基于叶面积与植被冠层透射率的关系,通过测量光线透过冠层时被削弱的程度来推导植被冠层的叶片数量,从而得到植被冠层 LAI^[10]。由此可以看出,LAI-2000 观测的 LAI 大小由透过冠层的天空光辐射透过率和观测天顶角决定。然而,在本定点控制实验中,由于同一天每次观测和计算的实验标准相同,并且计算时采用相同的观测天顶角,因此相对变化的条件只有太阳辐射强度的变化。由此可知太阳辐射的变化引起了 LAI-2000 观测的 LAI 值的变化。在地球大气上界接受的太阳辐射基本由地理纬度决定,此外还受到太阳常数以及日地平均距离的影响,其长期变化非常小^[13]。但是到达地球表面太阳辐射的变化则相对很大,这是因为某一地区在不同时段大气对太阳辐射的吸收和散射作用存在差异。而辐亮度是太阳辐射能量的表征,因此,本研究通过连续进行不同时刻的辐亮度观测来分析不同时刻的太阳辐射差异,并结合定点小麦 LAI 同步控制观测实验来定性分析辐亮度变化引起的定点小麦 LAI 变化。

由图 2 知,不同谱段的辐亮度存在着较明显的差异,且 LAI-2000 传感器只对波长小于 490 nm 的光线响应,因此本研究取观测时间段内(12:15—17:40)紫光谱段(380—430 nm)、蓝光谱段(430—470 nm)、和青光谱段(470—490 nm)的天空光辐亮

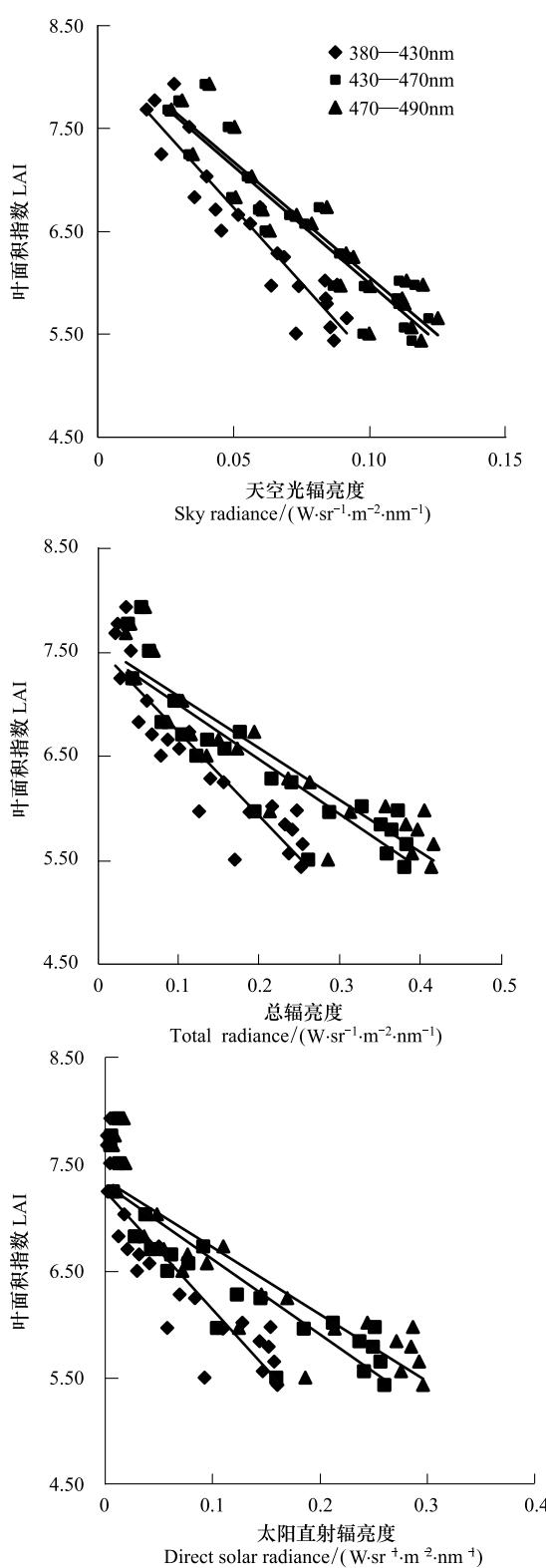


图 3 各个时刻观测的小麦 LAI 与紫光谱段(380—430 nm)、蓝光谱段(430—470 nm)和青光谱段(470—490 nm)辐亮度线性回归分析

Fig.3 The linear regression between wheat LAI measured at each moment and the radiance in purple spectrum region, blue spectrum region and cyan spectrum region

度、总辐亮度和太阳直射辐亮度来分别研究其与对应每个时刻观测的定点小麦 LAI 值之间的相关性,结果如图 3 所示。

由图 3 可知,在紫光谱段、蓝光谱段和青光谱段,LAI 与天空光辐亮度、总辐亮度和太阳直射辐亮度都呈负相关,具体的相关系数如表 3 所示。这说明从中午到傍晚,随着时间的变化,太阳高度角逐渐减小,太阳辐射能量不断减弱,而小麦 LAI 值则逐渐增大。这主要是因为,中午太阳高度角最大,太阳辐射能量最强,进入 LAI-2000 传感器的太阳直射光比例较大,导致了 LAI-2000 观测的 LAI 值偏小。而随着太阳高度角的减小,辐射能量减弱,进入 LAI-2000 传感器的太阳直射光比例减小,使得 LAI-2000 观测的小麦 LAI 值受太阳直射光的影响越来越小,从而 LAI-2000 测得的小麦 LAI 值逐渐增大。至傍晚,太阳落山,没有太阳直射光的影响,基本完全处于天空光条件,这是比较理想的观测条件,因此 LAI-2000 观测的 LAI 值最佳且最大,这与 Sylvain^[14]等的研究结果是一致的。观测时间段内(12:00—17:40)辐亮度与 LAI 的相关系数 R^2 如表 3、图 4 所示。

由表 3 和图 4 可以看出,对于波长小于 490 nm 的谱段,天空光辐亮度与 LAI 的相关系数 R^2 在紫光谱段最大,随后随着波长的增大而减小。这是因为 LAI-2000 感应器所检测的光线是经过过滤的,对波长小于 490 nm 的光线响应^[15-16]。而 LAI 与各谱段总辐亮度、太阳直射辐亮度的相关系数 R^2 均随着波长的增大而增大。另外,由图 4 还可以直观看出,在每个谱段,辐亮度与 LAI 的相关系数都是:天空光辐亮度>总辐射亮度>太阳直射辐亮度,这是由于 LAI-2000 主要是通过测量天空散射光透过率来计算 LAI 的,因此 LAI-2000 观测的 LAI 值与天空光辐亮度相关性较大。而且这些规律也很充分的解释了使用 LAI-2000 观测 LAI 最好选择在天空光较稳定的阴天或晴天日出前、日落后的原因。

另外,这里取 24 个观测时刻对应的可见光谱段(350—490 nm)天空光辐亮度分别与绿光谱段(500—560 nm)、红光谱段(620—760 nm)和近红外谱段(760—1000 nm)天空光辐亮度建立关系如图 5 所示。由图 5 可以看出,波长小于 490 nm 的天空光辐亮度与绿光谱段、红光谱段和近红外谱段的辐亮度呈高正相关,相关系数接近 1。而又由图 3 和表 3

知,波长小于490 nm 谱段的天空光辐亮度均与 LAI 高度负相关。据此,基于 LAI-2000 测得的小麦 LAI

数据,还研究了 LAI 与波长大于490 nm 波段的辐亮度的相关性,如图 6 所示。

表 3 LAI 与可见光和近红外各谱段辐亮度的相关系数(R^2)统计表

Table 3 Coefficients of determination (R^2) between LAI and radiance in each visible and near infrared spectrum region

辐亮度 Radiance	紫光 Purple	蓝光 Blue	青光 Cyan	绿光 Green	红光 Red	近红外 Near infrared
天空光辐亮度 Sky radiance	0.875	0.874	0.872	0.870	0.863	0.863
总辐亮度 Total radiance	0.818	0.826	0.829	0.834	0.844	0.852
太阳直射辐亮度 Direct solar radiance	0.776	0.796	0.805	0.814	0.832	0.842

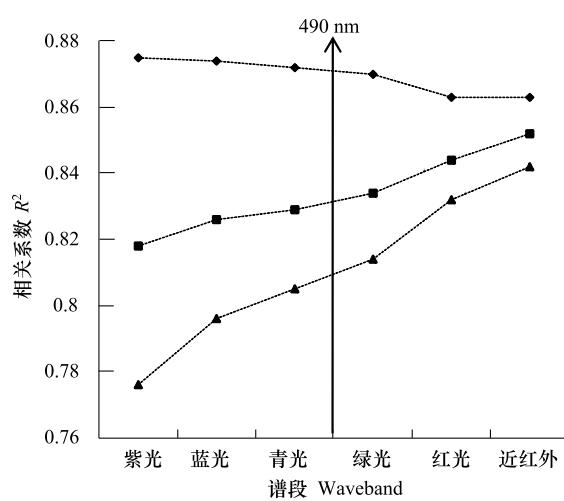


图 4 LAI 与各谱段辐亮度的相关系数(R^2)随波长变化图

Fig.4 Variation with wavelength about coefficients of determination (R^2) between LAI and radiance in each spectrum region

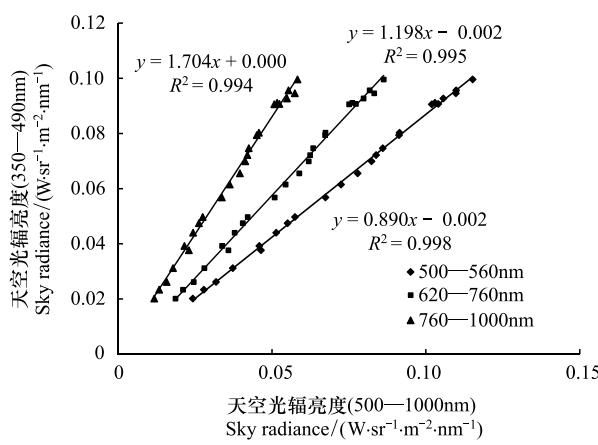


图 5 各个时刻观测的 350-490 nm 谱段辐亮度分别与绿光谱段(500—560 nm)、红光谱段(620—760 nm)和近红外谱段(760—1000 nm)天空光辐亮度之间的相关关系

Fig.5 Relationship between radiances in the range of 350—490 nm and the radiance in green spectrum region, red spectrum region and near infrared spectrum region for each moment

由表 3 和图 6 可以看出,当波长大于 490 nm 时,各个谱段仍有以下特征:LAI 与天空光辐亮度的相关系数 R^2 随着波长的增大而减小;LAI 与总辐亮度和太阳直射辐亮度的相关系数 R^2 均随着波长的增大而增大;在每个谱段,LAI 与辐亮度的相关系数都表现为:天空光辐亮度>总辐射亮度>太阳直射辐亮度。

4 结论和讨论

(1) 晴天条件下,波长小于 490 nm 和大于 490 nm 的各个谱段都有:LAI 与总辐亮度、直射光辐亮度和天空光辐亮度都呈负相关,相关系数(R^2)高达 0.8 左右,其大小为:天空光辐亮度>总辐射亮度>太阳直射辐亮度;且 LAI 与各谱段天空光辐亮度的相关性随着波长的增大而减小;而 LAI 与各谱段总辐亮度、太阳直射辐亮的相关性则均随着波长的增大而增大。验证了 LAI-2000 主要通过测量天空光来推导 LAI 的原理,同时也揭示了晴天条件下,LAI-2000 会受到较大的太阳直射光的影响,从而带来 LAI 测量误差。因此,晴天进行 LAI 观测时,需要对不同时间观测的 LAI 值进行归一化修正等处理。可根据 LAI 与天空光辐亮度的相关性,并结合不同时间观测的 LAI 值与日落后观测的 LAI 值对 LAI 值进行归一化修正处理,从而消除太阳直射光的影响,可用于解决 LAI-2000 只能在晴天日出前和日落后观测的局限性,拓展 LAI-2000 在晴天观测条件下的适用性和有效性。

(2) 尽管本研究是基于中午至下午时间段的定点小麦 LAI 观测实验和同步光谱辐亮度实验,但 LAI 和辐亮度随时间的变化特征以及两者的相关性特征可以推广到早上至中午。

(3) 本研究是基于一个品种、一个生育期(拔节

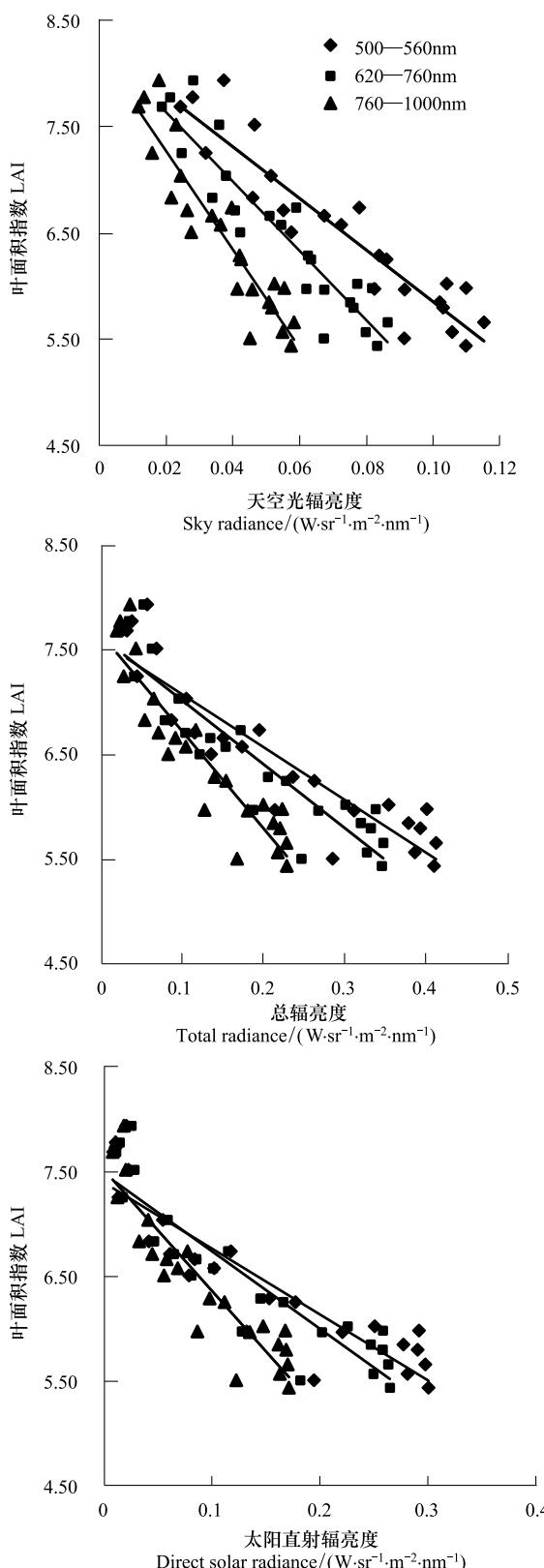


图 6 各个时刻观测的小麦 LAI 分别与绿光谱段(500—560 nm)、红光谱段(620—760 nm)和近红外光谱段(760—1000 nm)辐亮度线性回归分析

Fig.6 The linear regression between wheat LAI measured at each moment and the radiance in green spectrum region, red spectrum region and near infrared spectrum region

期)的冬小麦定点 LAI 观测实验,并且选择的定点小麦密度较高,因此测得的 LAI 值范围比同时期其他小麦的 LAI 值范围偏大。所以,在外推到其他品种小麦其他生长期、不同密度或者外推到其他植被类型时,还应结合相应植被本身的特性以及物候、生长等情况进一步系统研究。

References:

- [1] Chen J M, Black TA. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell and Environment*, 1992, 15(4):421-429.
- [2] Xue L H, Cao W X, Luo W H, Wang S H. Relationship between spectral vegetation indices and LAI in rice. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(1): 47-52.
- [3] Wu B F, Ceng Y, Huang J L. Overview of LAI/FPAR retrieval from remotely sensed data. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19(4): 585-590.
- [4] Liu D S, Li S M. Study on the relationship between the canopy spectral data of Winter Wheat and Leaf Area Index in Beijing area. *Remote sensing for land&resources*, 2008, (4): 32-34, 42.
- [5] Sun J W, Li Y N, Song C G, Wang J L, Zhang F W, Wang Q X. Seasonal dynamics model of above ground Biomass and Leaf Area Index on Alpine Kobresia hum ilis Meadow in Qinghai Tibet Plateau. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31(2): 230-234.
- [6] de Wasseige C, Bastin D, Deffoms P. Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurements in Central African Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 119(3/4): 181-194.
- [7] Black K, Davis P, Lynch P, Jones M, McGarry M, Osborne B. Long-term trends in solar irradiance in Ireland and their potential effects on gross primary productivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 14(2/4):118-132.
- [8] Al-Lawati A, Dorylo A S S, Jervase J A. Monthly average daily solar radiation and clearness index contour maps over Oman. *Energy Conversion and Management*, 2003, 44(5):691-705.
- [9] Wang Q, Chen J L, Sun Z Q. The utility of LAI-2000 Canopy Analyzer studying the sunlight distribution characteristics in different plant colonies. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(5):922-927.
- [10] LI-COR. LAI- 2000 Plant Canopy Analyzer Operating Manual. Lincoln, Nebraska: LI-COR Inc, 1991.
- [11] Chen J M, Rich P M, Gower S T, Norman J M, Plummer. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D24):29429-29431.
- [12] Yang X F, Liu T, Zhao Y B, Jia Y Q, Wang M J, Zhang T Q, Zhu X N. Measurement and analysis of sunlight and skylight

spectra. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 2004, 37(4):69-74.

- [13] Che H Z, Shi G Y, Zhang X Y, Arimoto R, Zhao J Q, Xu L, Wang B, Chen Z H. Analysis of 40 years of solar radiation data from China, 1961—2000. *Geophysical Research Letter*, 2005, 32(6):L06803, doi: 10.1029/2004GL022322.

- [14] Leblanc S G, Chen J M. A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 110(2): 125-139.

- [15] Hanan N P, Begue A. A method to estimate instantaneous and daily intercepted photosynthetically active radiation using a hemispherical sensor. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1995, 74(3/4):155-168.

- [16] Zhao F, Yang X Y, Schull M A, Román-Colón M O, Yao T, Wang Z S, Zhang Q L, Jupp D L B, Lovell J L, Culvenor D S, Newnham G J, Richardson A D, Ni-Meister W, Schaaf C L, Woodcock C E, Strahler A H. Measuring effective leaf area index, foliage profile, and stand height in New England forest stands using a full-waveform ground-based lidar. *Remote Sensing of*

Environment, 2011, 115(11):2954-2964.

参考文献:

- [2] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 王绍华. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究. *植物生态学报*, 2004, 28(1): 47-52.
- [3] 吴炳方, 曾源, 黄进良. 遥感提取植物生理参数 LAI/FPAR 的研究进展与应用. *地球科学进展*, 2004, 19(4): 585-590.
- [4] 刘东升, 李淑敏. 北京地区冬小麦冠层光谱数据与叶面积指数统计关系研究. *国土资源遥感*, 2008, (4): 32-34, 42.
- [5] 孙建文, 李英年, 宋成刚, 王建雷, 张法伟, 王勤学. 高寒矮嵩草草甸地上生物量和叶面积指数的季节动态模拟. *中国农业气象*, 2010, 31(2): 230-234.
- [9] 王谦, 陈景玲, 孙治强. LAI-2000 冠层分析仪在不同植物群体光分布特征研究中的应用. *中国农业科学*, 2006, 39(5): 922-927.
- [12] 杨希峰, 刘涛, 赵友博, 贾亚青, 王明伟, 张铁群, 朱晓农. 太阳光和天空光的光谱测量分析. *南开大学学报: 自然科学版*, 2004, 37(4): 69-74.

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage GONG Dongqin, LÜ Jun (239)

- Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain SUN Caizhi, YAN Xiaolu, ZHONG Jingqiu (247)

- Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

- A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ZHOU Jin, CHEN Guofu, ZHU Xiaoshan, et al (269)

- Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes WANG Jiali, WANG Fang (282)

- Effects of ozone stress on major plant physiological functions LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

- The current progress in rodents molecular phylogeography LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

- The progress in ecosystem services mapping: a review ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

- Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress LIU Zhengxiang, ZHANG Huixin, YANG Xiuyan, et al (326)

- Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats XIANG Fen, ZHOU Qiang, TIAN Xiangrong, et al (337)

- Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

- Effects of K⁺ and Cr⁶⁺ on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

- Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

- Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

- Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei, et al (390)

- Effecton of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

- The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

- Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei, et al (421)

- Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ZHANG Lijuan, JIANG Chunyan, MA Jun, et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain ...	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
Research Notes	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

《生态学报》2014年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,280页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第34卷 第2期 (2014年1月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

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
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
主 办	中国生态学学会 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
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
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
订 购	全国各地邮局
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
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

