

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 2011

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 31 卷 第 23 期 2011 年 12 月 (半月刊)

## 目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟.....	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应.....	潘燕芳,闫 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力.....	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 .....	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究.....	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 .....	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 .....	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响.....	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 .....	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征.....	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征.....	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素.....	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鮈鱼种群遗传结构.....	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流弥苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素.....	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力.....	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 .....	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 .....	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氨挥发的影响.....	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响.....	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCD 不同施用时间对小麦生长期 N <sub>2</sub> O 排放的影响 .....	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 .....	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 .....	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响.....	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响.....	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价.....	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响.....	邓明丽,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 .....	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究.....	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 .....	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 .....	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征.....	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 .....	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例 .....	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究.....	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
<b>专论与综述</b>	
北冰洋海域微食物环研究进展.....	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展.....	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 .....	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
<b>研究简报</b>	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 .....	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系 .....	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 336 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 39 \* 2011-12



**封面图说:**黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

付刚,周宇庭,沈振西,张宪洲,石培礼,何永涛,余桂荣,武建双.不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟.生态学报,2011,31(23):6989-6998.

Fu G, Zhou Y T, Shen Z X, Zhang X Z, Shi P L, He Y T, Yu G Y, Wu J S. Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 6989-6998.

## 不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟

付 刚<sup>1,2</sup>,周宇庭<sup>1,2</sup>,沈振西<sup>1,\*</sup>,张宪洲<sup>1</sup>,石培礼<sup>1,2</sup>,何永涛<sup>1,2</sup>,余桂荣<sup>1,2</sup>,武建双<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室 拉萨高原生态系统研究站,北京 100101;

2. 中国科学院研究生院,北京 100049)

**摘要:**利用植被光合模型模拟了藏北高原 3 个海拔高度(4300,4500 m 和 4700 m)的高寒草甸生态系统的光能利用效率。海拔 4500 m 的光能利用效率均值(0.47 g C/MJ)显著高于海拔 4300 m(0.38 g C/MJ)和 4700 m(0.35 g C/MJ),而海拔 4300 m 和 4700 m 两者间差异不显著。相关分析和多重逐步回归分析表明,影响每个海拔光能利用效率季节变化的主要因子为空气温度,相对湿度以及地表水分指数,这 3 个因子共同解释了 99% 以上的光能利用效率的季节变化,其中空气温度的贡献最大,相对湿度的贡献次之,地表水分指数的贡献最小,这说明在 3 个海拔的任何一个海拔高度,温度对光能利用效率季节变化的胁迫作用大于水分对光能利用效率季节变化的胁迫作用。多重逐步线性回归分析表明,生长季节均土壤含水量是决定生长季节均光能利用效率沿海拔高度分布的主导因子。单因子线性回归分析表明,地表水分指数可以定量化高寒嵩草草甸生态系统水分状况,它同时可以反应土壤水分、近地表空气湿度以及生态系统植被含水量状态。因此,在高寒嵩草草甸生态系统,用地表水分指数反应生态系统尺度水分对光能利用效率的胁迫作用是可行的。

**关键词:**光能利用效率;遥感模拟;高寒草甸;海拔高度

## Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient

FU Gang<sup>1,2</sup>, ZHOU Yuting<sup>1,2</sup>, SHEN Zhenxi<sup>1,\*</sup>, ZHANG Xianzhou<sup>1</sup>, SHI Peili<sup>1,2</sup>, HE Yongtao<sup>1,2</sup>, YU Guiyong<sup>1,2</sup>, WU Jianshuang<sup>1,2</sup>

1 Lhasa Plateau Ecosystem Research Station, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

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

**Abstract:** Light use efficiency is defined as the ratio of gross primary production or net primary production against the absorbed light energy by vegetation canopy. The quantification modeling of gross primary production or net primary production is based on the quantification modeling of light use efficiency to some extent. Therefore, quantifying light use efficiency at various spatial and temporal resolutions is significant for global carbon cycle because quantifying primary production at various spatial and temporal resolutions is one important component of quantifying global carbon cycle. Alpine meadow is one typical vegetation type on the Qinghai-Tibet Plateau. It is a typical ecosystem in both the Central Asia and the world. Meanwhile, alpine meadow plays a very important role in regional carbon budget in China. Hence, quantifying light use efficiency of alpine meadow ecosystem is very important for quantifying region carbon budget on Qinghai-Tibet Plateau. We modeled the light use efficiency of three alpine meadow ecosystems along an altitudinal gradient (4300—4700 m) on the Northern Tibetan Plateau by using the vegetation photosynthesis model in this study. The light use efficiency is

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAC06B01,2006BAC01A04); 国家自然基金资助项目(40771121,41171084)

收稿日期:2010-10-15; 修订日期:2010-12-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shenzx@igsnrr.ac.cn

determined by two attenuation scalars, land surface water index and air temperature in the vegetation photosynthesis model. Land surface water index can reflect the effects of land surface water content and vegetation phenology on the light use efficiency in the vegetation photosynthesis model. The mean values of the light use efficiency on altitudes of 4300 m, 4500 m and 4700 m were 0.38 g C/MJ, 0.47 g C/MJ and 0.35 g C/MJ, respectively. Analysis of variance showed that the light use efficiency on altitude 4500 m was significantly higher than those on altitudes of 4300 m and 4700 m. Besides, the light use efficiency difference between altitude of 4300 m and 4700 m was not significant. Simple linear correlation analysis and multiple stepwise linear regression analysis between light use efficiency and soil temperature, soil water content, air temperature, relative humidity and land surface water index showed that the seasonal change of the light use efficiency was determined by air temperature, relative humidity and land surface water index on all studied altitudes. Air temperature, relative humidity and land surface water index together explained at least 99% of seasonal change of the light use efficiency. The standard regression coefficient of air temperature was the largest, followed by relative humidity and then by land surface water index. Therefore, the contribution ranking of each factor to the light use efficiency regression equation was air temperature > relative humidity > land surface water index on all altitudes. This indicated that the influence of temperature on seasonal change of light use efficiency was larger than water. Multiple stepwise linear regression analysis showed that growing season average soil water content was the dominant factor controlling the spatial variations of growing season average light use efficiency along the altitudinal gradient. Single linear regression analysis showed that land surface water index significantly explained seasonal changes of soil water content and relative humidity on all altitudes. Land surface water index on altitude of 4500 m and 4700 m also significantly explained seasonal changes of vapor pressure deficit. Additionally, seasonal changes of vapor pressure deficit on altitude of 4300 m was explained by land surface water index to some extent. These results indicated that land surface water index could quantify the seasonal change of environmental water content of land surface in the alpine meadow ecosystem. Thus, it is feasible to use land surface water index to infer the water attenuation scalar for the alpine meadow ecosystem on the Northern Tibetan Plateau.

**Key Words:** light use efficiency; satellite-based modelling; alpine meadow; altitude

光能利用效率(Light use efficiency, LUE)指的是植被所吸收的碳与植被冠层所吸收的光能量之比<sup>[1]</sup>。植被所吸收的碳既可以用总初级生产力(Gross primary production, GPP)<sup>[2]</sup>,也可以用净初级生产力(Net primary production, NPP)<sup>[3]</sup>衡量。定量化生产力的时空变化是定量化全球碳循环的重要挑战之一,在所有的生产力模型中,LUE模型最有潜力定量化生产力的时空变化<sup>[4-5]</sup>。因此,作为光能利用效率生产力模型的重要参数,LUE的准确定量化模拟是定量化生产力时空变化和全球碳循环的基础。很多LUE模型已经广泛应用于生产力的模拟,如植被光合模型(Vegetation photosynthesis model, VPM)等<sup>[6-9]</sup>。在LUE模型中,LUE一般按照下式进行计算:

$$\text{LUE} = \text{LUE}_{\max} \times f \quad (1)$$

式中,LUE<sub>max</sub>是指潜在光能利用效率或最大光能利用效率;f是衰减因子,其中最常见的两个衰减因子是温度因子和水分因子。饱和水汽压亏缺或土壤湿度常被用来作为水分胁迫因子,而在VPM中,Xiao等<sup>[6-9]</sup>提出了一个新的植被指数-地表水分指数(Land surface water index, LSWI),用来反应冠层水分状况和植被物候期对LUE的影响。

高寒草甸是青藏高原典型植被之一,它在亚洲中部高寒环境以及世界高寒地区都极具代表性<sup>[10]</sup>。青藏高原高寒草甸生态系统的GPP可能会随着大气CO<sub>2</sub>浓度的增加而增加<sup>[10]</sup>。因此,准确定量化模拟高寒草甸生态系统的LUE和生产力是定量化高寒草甸生态系统碳循环的重要组成部分。以前的研究<sup>[11-12]</sup>表明,VPM在定量化青藏高原高寒草甸总初级生产力时空变化方面具有一定的潜力。此外,水热因子会随着海拔高度的变化而发生变化<sup>[13-15]</sup>,而水热因子的变化可能会引起LUE的变化。基于此,本研究利用VPM模拟了藏北3

个海拔高度(4300、4500 m 和 4700 m)高寒嵩草草甸的 LUE, 以探讨 LUE 的季节变化、沿海拔高度的分布特征及其主导因子。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究区域( $30^{\circ}30'—30^{\circ}32'$ ,  $91^{\circ}03'—91^{\circ}04'$ )位于念青唐古拉山的南缘, 属于当雄县的管辖范围。当雄县素有拉萨北大门之称, 平均海拔4200 m, 位于藏北藏南的交错地带。该地区属于高原性季风气候。降水量有明显的季节之分, 80% 的降水集中在生长季节的6—8月份。冰冻期较长, 持续3个月(11月—翌年1月)<sup>[16-17]</sup>。植被类型属于典型的高寒嵩草草甸植被<sup>[18]</sup>。

### 1.2 样地布设

以当雄草原站(海拔4300 m)为基点, 沿着海拔每升高200 m布设样地, 共设置3块样地。每块样地分别架设了两套小气候观测系统(HOBO Weather Station Data Logger)。不同海拔高度的优势物种和群落特征可以参考<sup>[12, 18-19]</sup>。

### 1.3 气象数据和 MODIS 数据

#### 1.3.1 MODIS 数据

本研究利用了MODIS的反照率产品MYD09A1, 它是以8d作为时间单位的, 包括7个波段的反照率数据和一些质量控制数据。其中本研究所涉及到的两个波段分别是第2(近红外波段)和6波段(短波红外波段)。MYD09A1下载于[http://daac.ornl.gov/cgi-bin/MODIS/GLBVIZ\\_1\\_Glb/modis\\_subset\\_order\\_global\\_col5.pl](http://daac.ornl.gov/cgi-bin/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_subset_order_global_col5.pl)。

#### 1.3.2 气象数据

本研究所涉及到的气象数据主要包括空气温度(air temperature,  $T_a$ )、相对湿度(relative humidity,  $RH$ )、土壤温度(soil temperature,  $T_s$ )、土壤含水量(soil water content, SWC)。在本研究中, 以每个海拔的两个HOBO观测系统的均值为基础, 对3个海拔的光能利用效率进行模拟。原始数据的采样频率为1min。因此, 为了与MODIS数据匹配, 首先将原始数据求平均作为每天的均值, 然后将每8d的值再求平均得到每8d的均值。

### 1.4 模型介绍

在本研究中所采用的模型为VPM的光能利用效率子模型。关于VPM的详细介绍可参照Xiao等<sup>[6-9]</sup>, 这里只对本研究所涉及的光能利用效率子模型进行介绍。

在VPM中, LUE按下面的表达式进行计算:

$$LUE = LUE_{\max} \times T_{\text{scalar}} \times W_{\text{scalar}} \times P_{\text{scalar}} \quad (2)$$

式中,  $LUE_{\max}$  是最大光能利用效率(g C / MJ);  $T_{\text{scalar}}$ ,  $W_{\text{scalar}}$  和  $P_{\text{scalar}}$  分别是植被光能利用效率的温度参数、水分参数和叶片物候期参数。

$T_{\text{scalar}}$ 用陆地生态系统模型(TEM)中的等式<sup>[6-11, 20]</sup>进行估计:

$$T_{\text{scalar}} = \frac{(T - T_{\min})(T - T_{\max})}{[(T - T_{\min})(T - T_{\max})] - (T - T_{\text{opt}})^2} \quad (3)$$

式中,  $T_{\min}$ 、 $T_{\text{opt}}$  和  $T_{\max}$  分别是植物光合作用活动所需的最低、最适和最高温度。如果空气温度降低到最低温度以下,  $T_{\text{scalar}}$  值为0。

$W_{\text{scalar}}$ 用LSWI进行估计:

$$W_{\text{scalar}} = \frac{1 + \text{LSWI}}{1 + \text{LSWI}_{\max}} \quad (4)$$

式中,  $\text{LSWI}_{\max}$  是生长季节内的最大陆地表面水分指数。不同年份对应不同的  $\text{LSWI}_{\max}$ <sup>[21]</sup>。

$P_{\text{scalar}}$ 也用LSWI进行估计。对于落叶植被类型,  $P_{\text{scalar}}$ 的计算要分成两个阶段考虑:

$$P_{\text{scalar}} = \frac{1 + \text{LSWI}}{2} \quad (5)$$

从种子萌芽开始到叶片完全展开

$$P_{\text{scalar}} = 1 \quad (6)$$

叶片完全展开后

### 1.5 模型关键参数的确定

#### 1.5.1 最大光能利用效率的确定

不同植被类型的 LUE<sub>max</sub> 不同<sup>[6]</sup>, 可以根据通量塔观测的白天的净生态系统交换量 (net ecosystem exchange, NEE) 和光合有效辐射 (photosynthetically active radiation, PAR) 或光合光量子通量密度 (PPFD) 数据用 Michaelis-Menten 模型进行拟合<sup>[10,22-23]</sup>。为了取得最大光能利用效率值, 查阅了关于青藏高原高寒草甸最大光能利用效率方面的文献<sup>[10,12,16,24]</sup>。据相关文献<sup>[24]</sup>, 在本研究中, LUE<sub>max</sub> 取 0.73 g C/MJ。

#### 1.5.2 植被指数

$$\text{LSWI} = \frac{\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{swir}}}{\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{swir}}} \quad (7)$$

式中,  $\rho_{\text{nir}}$  和  $\rho_{\text{swir}}$  分别是 MODIS 传感器第 2 波段 (841—876 nm) 和第 6 波段 (1628—1652 nm) 的反照率<sup>[25]</sup>。

#### 1.5.3 $T_{\min}$ 、 $T_{\text{opt}}$ 和 $T_{\max}$

不同植被类型的  $T_{\min}$ 、 $T_{\text{opt}}$  和  $T_{\max}$  不同<sup>[7,11]</sup>。在本研究中,  $T_{\min}$ 、 $T_{\text{opt}}$  和  $T_{\max}$  分别取 0、20 和 35°C<sup>[11-12]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 光能利用效率的季节变化

3 个海拔的光能利用效率的季节变化趋势大体一致(图 1):基本上呈单峰曲线, 峰值出现在 7—8 月份;从 5 月到 6 月底(5 月 1 日—6 月 25 日)光能利用效率大体上呈增加趋势, 从 6 月底开始保持一个较恒定的值直到 8 月上旬, 之后出现下降趋势。

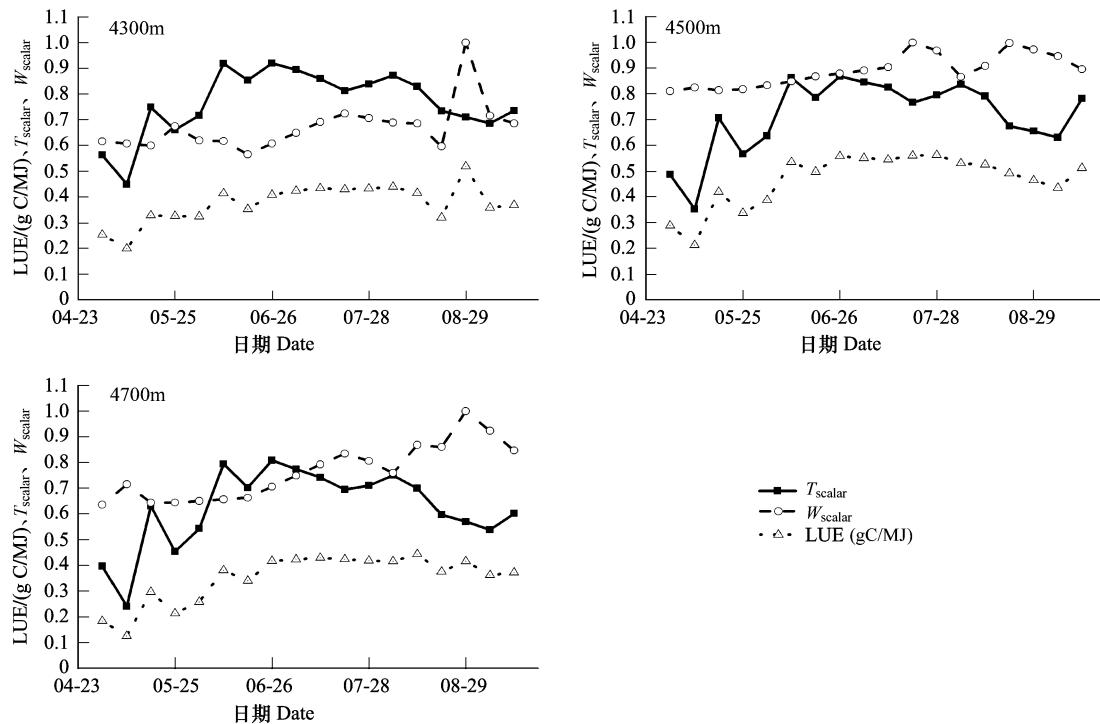


图 1 4300, 4500 m 和 4700 m 的光能利用效率的季节变化

Fig. 1 Seasonal change of light use efficiency along an altitudinal gradient (4300—4700 m)

### 2.2 气候因子的季节变化

3 个海拔的空气温度曲线趋势一致(图 2):都呈单峰曲线;从 5 月初开始, 空气温度逐渐开始升高, 在 6 月

10日—6月17日期间出现次最大值,经过短暂的(6月18日—6月25日)下降后,空气温度在6月26日—7月3日期间达到峰值,之后空气温度逐渐下降。3个海拔的土壤温度曲线也都呈单峰曲线,但它们的季节变化并没有空气温度曲线的一致性高(图2):4300 m 的土壤温度曲线峰值出现在6月10日—6月17日期间,早于空气温度曲线峰值,而4500 m 和4700 m 的土壤温度曲线峰值则出现在8月5日—8月12日期间,晚于空气温度曲线峰值。总体而言,空气温度低于土壤温度。4300,4500 m 和4700 m 每个海拔的土壤温度和空气温度的季节变化的相关系数分别为0.830( $P < 0.001$ ),0.965( $P < 0.001$ )和0.974( $P < 0.001$ )。3个海拔的土壤含水量和相对湿度曲线的趋势也分别一致(图3):单峰曲线;从5月初开始逐渐增加至8月底9月初达到最高值。4300 m,4500 m 和4700 m 每个海拔的土壤含水量和相对湿度的季节变化的相关系数分别为0.697( $P = 0.001$ ),0.767( $P < 0.001$ )和0.686( $P = 0.002$ )。

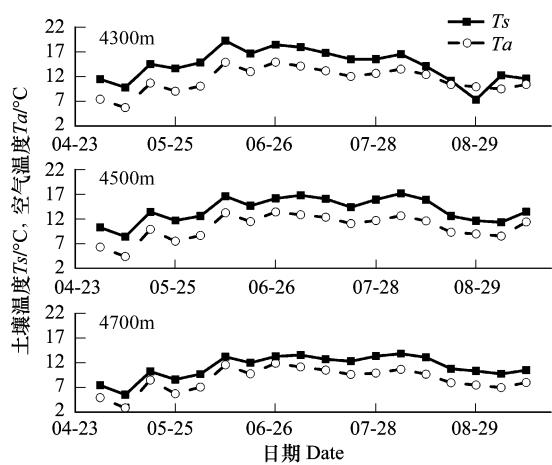


图2 4300, 4500 m 和 4700 m 的土壤温度、空气温度的季节变化

Fig. 2 Seasonal change of soil temperature and air temperature along an altitudinal gradient (4300—4700 m)

### 2.3 地表水分指数的季节变化

3个海拔的地表水分指数都是单峰曲线,不过峰值出现时间有差异(图4):海拔4500 m 的峰值出现时间(7月20日—7月27日)早于海拔4300 m 和4700 m 的峰值出现时间(8月29日—9月5日)。除了7月20日—8月4日期间以及8月29日—9月5日期间3个海拔的LSWI值都为正值外,3个海拔的LSWI正值的出现时间以及个数都不同(图4)。

### 2.4 3个海拔的光能利用效率、气候因子、地表水分指数的比较

多重比较(表1)表明,3个海拔间的土壤含水量、相对湿度和地表水分指数差异都不显著;海拔4700 m 的土壤温度显著低于海拔4300 m 和4500 m 的土壤温度,4300 m 和4500 m 的土壤温度差异不显著;海拔4500 m 的空气温度与4300、4700 m 的空气温度分别都没有显著性差异,而海拔4700 m 的空气温度显著低于海拔4300 m 的空气温度;温度参数的结果与空气温度的完全一样;水分参数在3个海拔的任意两个海拔间都有显著差异,其中海拔4500 m 的水分参数值最大,而

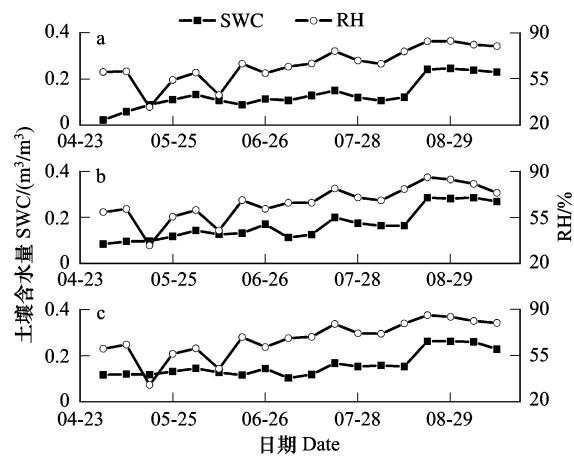


图3 4300, 4500 m 和 4700 m 的土壤含水量、相对湿度的季节变化

Fig. 3 Seasonal change of soil water content and relative humidity along an altitudinal gradient (4300—4700 m)

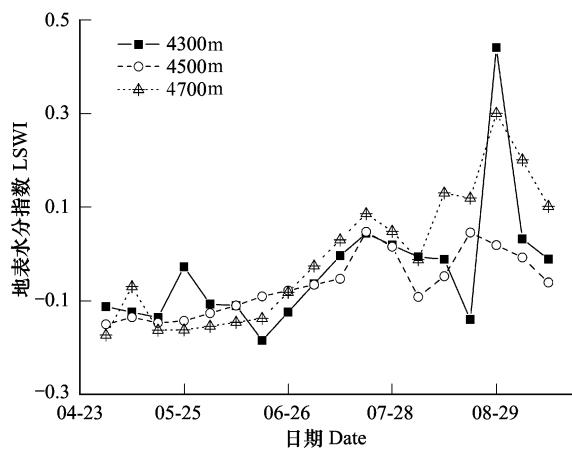


图4 不同海拔高度的地表水分指数的季节变化

Fig. 4 Seasonal change of land surface water indices (LSWI) along an altitudinal gradient (4300—4700 m)

海拔4300 m的水分参数值最小。海拔4500 m的光能利用效率最大,且显著大于其它两个海拔的光能利用效率,而海拔4700 m的光能利用效率最小,但与海拔4300 m的光能利用效率差异不显著。

表1 3个海拔的生长季节的气候数据、植被指数和光能利用效率的多重比较

Table 1 Multiple comparisons of climate data, vegetation indices and light use efficiency among the three altitudinal gradient from 4300 to 4700 m, respectively

海拔高度/m Altitude	土壤温度/℃ <i>T<sub>s</sub></i>	土壤含水量/(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) SWC	空气温度/℃ <i>T<sub>a</sub></i>	相对湿度/% <i>RH</i>	地表水分指数 LSWI	温度参数 <i>T<sub>scalar</sub></i>	水分参数 <i>W<sub>scalar</sub></i>	光能利用效率 LUE (g C/MJ)
4300	14.30 b	0.134 a	11.32 b	65.9 a	-0.0346 a	0.77 b	0.67 a	0.38 a
4500	13.81 b	0.169 a	10.26 ab	66.3 a	-0.0652 a	0.72 ab	0.89 c	0.47 b
4700	11.15 a	0.160 a	8.60 a	67.8 a	-0.0058 a	0.63 a	0.76 b	0.35 a

不同字母间表示差异显著

## 2.5 光能利用效率与气候因子、地表水分指数的关系

表2的相关分析结果表明,海拔4300 m,4500 m和4700 m的光能利用效率与空气温度、地表水分指数、温度参数、水分参数都分别达到了显著或极显著相关关系,而与土壤含水量、相对湿度的相关关系不显著。海拔4500 m和4700 m的光能利用效率和土壤温度也都分别达到了极显著相关关系,而海拔4300 m的两者关系不显著。3个海拔的所有数据的整体相关分析结果(表2)表明,光能利用效率与土壤温度、土壤含水量、空气温度、相对湿度、地表水分指数、温度参数、水分参数都分别达到了显著或极显著相关。

表2 光能利用效率与各因子的相关分析,时间尺度:日尺度

Table 2 Correlation analysis between light use efficiency and related factors along an altitudinal gradient (4300—4700 m)

海拔/m Altitude	土壤温度 <i>T<sub>s</sub></i>	土壤含水量 SWC	空气温度 <i>T<sub>a</sub></i>	相对湿度 <i>RH</i>	地表水分指数 LSWI	温度参数 <i>T<sub>scalar</sub></i>	水分参数 <i>W<sub>scalar</sub></i>
4300 ( <i>n</i> =18)	0.283	0.414	0.702 ***	0.308	0.653 **	0.737 ***	0.653 **
4500 ( <i>n</i> =18)	0.879 ***	0.340	0.938 ***	0.291	0.578 *	0.954 ***	0.578 *
4700 ( <i>n</i> =18)	0.900 ***	0.301	0.850 ***	0.435	0.569 *	0.870 ***	0.569 *
4300—4700 ( <i>n</i> =54)	0.642 ***	0.348 **	0.729 ***	0.280 *	0.374 **	0.761 ***	0.628 ***

\* , \*\* 和 \*\*\* 分别表示显著性达到0.05、0.01和0.001水平

3个海拔的每日的光能利用效率与每日的土壤温度、土壤含水量、空气温度、相对湿度以及地表水分指数的多重逐步回归分析结果类似(表3):无论是否考虑截距项,土壤温度和土壤含水量都不会进入回归方程,而空气温度和地表水分指数则都会进入方程;相对湿度只有在无截距项时才会进入回归方程;回归方程极显著地解释了98%以上的光能利用效率的变异;标准回归系数表明不同因子对光能利用效率回归方程的贡献不同,空气温度的贡献最大,相对湿度的贡献次之,地表水分指数的贡献最小。3个海拔的所有数据的整体回归分析结果(表3)表明,在有截距的情况下,截距项没有达到显著水平(*P*=0.9089),且存在着较强的共线性;在无截距的情况下,土壤含水量和空气温度进入回归方程,且空气温度对回归方程的贡献大于土壤含水量的贡献,该回归方程解释了98%的光能利用效率变异。

生长季节均光能利用效率与生长季节均土壤温度、均土壤含水量、均空气温度、相对湿度以及均地表水分指数的相关系数分别为0.550 (*P*=0.629),0.532 (*P*=0.643),0.325 (*P*=0.789),-0.504 (*P*=0.664),-0.955 (*P*=0.191)。通过整个生长季光能利用效率均值与整个生长季土壤温度、土壤含水量、空气温度、相对湿度以及地表水分指数均值的多重逐步回归分析发现,整个生长季均光能利用效率的空间变化只与生长季均土壤含水量呈极显著线性关系,其回归方程为 $y=2.5710x$ (*x,y*分别表示生长季均土壤含水量和生长季均光能利用效率, $R^2=0.9817$ , $RMSE=0.0542$ , $P=0.006$ , $n=3$ )。

表3 光能利用效率与气候因子、地表水分指数的逐步回归分析(时间尺度:日尺度)

Table 3 Multiple stepwise linear analysis between light use efficiency and climate data and LSWI along an altitudinal gradient (4300—4700 m)

海拔/m Altitude	截距 Intercept	回归方程 Regression equations	标准回归系数 Standardized regression coefficients	决定系数 $R^2$	均方根误差 RMSE	显著性概率 P
4300 (n=18)	无	$y = 0.0268x_3 + 0.0012x_4 + 0.3253x_5$	$x_3 : 0.8114, x_4 : 0.2171, x_5 : 0.1173$	0.9978	0.0179	<0.0001
	有	$y = 0.0228x_3 + 0.3859x_5 + 0.1301$	$x_3 : 0.7602, x_5 : 0.6972$	0.9887	0.0081	<0.0001
4500 (n=18)	无	$y = 0.0376x_3 + 0.0015x_4 + 0.2510x_5$	$x_3 : 0.8292, x_4 : 0.2081, x_5 : 0.0482$	0.9990	0.0151	<0.0001
	有	$y = 0.0341x_3 + 0.5352x_5 + 0.1525$	$x_3 : 0.8462, x_5 : 0.3476$	0.9947	0.0075	<0.0001
4700 (n=18)	无	$y = 0.0331x_3 + 0.0010x_4 + 0.2675x_5$	$x_3 : 0.8159, x_4 : 0.1867, x_5 : 0.1020$	0.9990	0.0112	<0.0001
	有	$y = 0.0320x_3 + 0.3483x_5 + 0.0771$	$x_3 : 0.8191, x_5 : 0.5186$	0.9894	0.0098	<0.0001
4300—4700 (n=54)	无	$y = 0.6646x_2 + 0.0293x_3$	$x_2 : 0.2696, x_3 : 0.7431$	0.9800	0.0580	<0.0001

$x_1, x_2, x_3, x_4$  和  $x_5$  分别代表土壤温度、土壤含水量、空气温度、相对湿度和地表水分指数

### 3 讨论与结论

光能利用效率与空气温度的相关性强于光能利用效率与地表水分指数的相关性,且光能利用效率与温度参数的相关性强于光能利用效率与水分参数的相关性(图1,表2)。空气温度的标准回归系数比地表水分指数、相对湿度以及土壤含水量的标准回归系数都大(表3)。标准回归系数值越大,其对回归方程的贡献也越大,因此,空气温度对回归方程的贡献大于其它因子。这些结果同时表明了高寒嵩草草甸生态系统光能利用效率的季节变化主要受控于空气温度。沿着海拔梯度,温度参数的值域宽度、标准差、变异系数分别大于水分参数的值域宽度、标准差、变异系数(表4),这也说明温度参数比水分参数更能反应光能利用效率的季节变化。 $T$ 检验表明,海拔4300 m 的温度参数均值显著大于水分参数均值( $P=0.019$ ),而海拔4500 m 和4700 m 的温度参数均值则分别都极显著小于水分参数均值。温度参数和水分参数两者中数值较小的因子对光能利用效率的胁迫作用更大,从这个角度出发,即从静态的角度出发,平均而言,海拔4300 m 的光能利用效率主要受控于水分参数,而海拔4500 m 和4700 m 的则主要受控于温度参数。而从季节变化的角度出发,3个海拔的光能利用效率都主要受控于温度参数(表2—表4)。因此,值域、标准差和变异系数这3个统计量比均值更能够反应光能利用效率的季节变化。

表4 光能利用效率的温度参数和水分参数的统计指标,时间尺度:日尺度

Table 4 Statistical indices of light use efficiency along an altitudinal gradient (4300—4700 m)

海拔/m Altitude	温度参数 $T_{\text{scalar}}$			水分参数 $W_{\text{scalar}}$		
	值域 Range of values	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	值域 Range of values	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
4300 (n=18)	0.45—0.92	0.126	0.164	0.57—1	0.095	0.142
4500 (n=18)	0.35—0.87	0.141	0.197	0.81—1	0.063	0.071
4700 (n=18)	0.24—0.81	0.151	0.241	0.64—1	0.109	0.143
4300—4700 (n=54)	0.24—0.92	0.149	0.212	0.57—1	0.128	0.165

光能利用效率多重回归模型中,在有截距项参与回归的情况下,海拔4300 m 的空气温度和地表水分指数的标准回归系数仅相差0.063,海拔4500 m 和4700 m 的则分别相差0.4986和0.3005;在无截距项参与回归的情况下,海拔4300,4500 m 和4700 m 的空气温度和地表水分指数的标准回归系数之差分别为0.6941,0.7810和0.7139。标准回归系数相差越大表明两者对回归方程的贡献差越大,所以海拔4300 m 的空气温度和地表水分指数对回归方程的贡献差异最小,而海拔4500 m 的差异最大。

多重回归分析显示,沿着海拔梯度,生长季节均土壤含水量一个因子就极显著地解释了98.17%的生长季节均光能利用效率变异。因此,可以说生长季节均土壤含水量是生长季节均光能利用效率沿海拔分布的主导因子。

很多研究<sup>[26-28]</sup>表明,较高的饱和水汽压亏缺将引起气孔关闭,气孔阻力增加,叶片光合速率降低,从而导致生产力降低。因此,在一些总初级生产力模型<sup>[2,24,29]</sup>中,饱和水汽压亏缺被用来作为光能利用效率的水分胁迫因子。尽管如此,饱和水汽压亏缺有着自身的限制,它是基于点的测量,因此对于地形复杂的地区它很难反应生态系统尺度的值。青藏高原气象数据观测站较少,从而导致气象观测数据缺乏,因此,饱和水汽压亏缺数据的可获得性较差。相反,地表水分指数则相对容易获得,它可以通过MODIS影像得到,MODIS传感器每1天或2天就会经过同一个地点,且覆盖全球。因此,对于气象数据缺乏的地区,地表水分指数作为光能利用效率的水分胁迫因子无疑是一种可以值得考虑的选择。

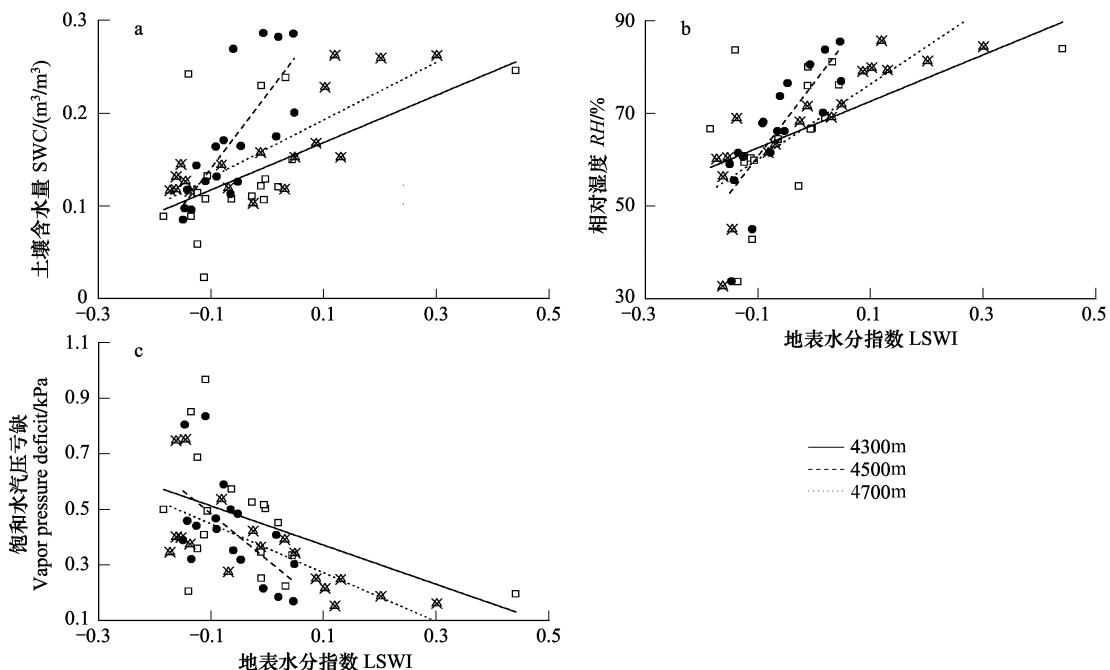


图5 不同海拔高度的土壤含水量、相对湿度、饱和水汽压亏缺与地表水分指数(LSWI)的线性回归

Fig. 5 Linear regression between land surface water indices (LSWI) and relative humidity, soil water content and vapor pressure deficit along an altitudinal gradient (4300—4700 m), respectively

表5 不同海拔高度的土壤含水量、相对湿度、饱和水汽压亏缺与地表水分指数(LSWI)的线性回归参数( $n=18$ )

Table 5 Regression parameters of the linear regression between land surface water indices (LSWI) and relative humidity, soil water content and vapor pressure deficit along an altitudinal gradient (4300—4700 m), respectively

海拔/m Altitude	土壤含水量 Soil water content		相对湿度 Relative humidity		饱和水汽压亏缺 Vapor pressure deficit				
	回归方程 Regression equations	决定系数 $R^2$	显著性概率 P	回归方程 Regression equations	决定系数 $R^2$	显著性概率 P	回归方程 Regression equations	决定系数 $R^2$	显著性概率 P
4300	$y=0.26x+0.14$	0.2529	0.019	$y=50.16x+67.63$	0.2107	= 0.032	$y=-0.70x+0.44$	0.1596	0.056
4500	$y=0.80x+0.22$	0.5711	< 0.001	$y=159.28x+76.69$	0.6237	< 0.001	$y=-1.66x+0.32$	0.3239	0.008
4700	$y=0.31x+0.16$	0.6304	< 0.001	$y=81.23x+68.23$	0.6682	< 0.001	$y=-0.88x+0.36$	0.4880	< 0.001

3个海拔高度的地表水分指数都显著地解释了土壤含水量、相对湿度的季节变化,海拔4500 m和4700 m的地表水分指数也显著解释了饱和水汽压亏缺的季节变化,海拔4300 m的地表水分指数也在一定程度上解释了饱和水汽压亏缺的季节变化(图5,表5),表明地表水分指数可以定量化高寒嵩草草甸生态系统表层环境的水分状态,它同时可以反应土壤水分状态、近地表空气湿度状态以及生态系统植被含水量状态。因此,在高寒嵩草草甸生态系统,用地表水分指数反应生态系统尺度水分对光能利用效率的胁迫作用是可行的。

**References:**

- [ 1 ] Chen J, Shen M G, Kato T. Diurnal and seasonal variations in light-use efficiency in an alpine meadow ecosystem: causes and implications for remote sensing. *Journal of Plant Ecology*, 2009, 2(4) : 173-185.
- [ 2 ] Prince S D, Goward S N. Global primary production: a remote sensing approach. *Journal of Biogeography*, 1995, 22(4/5) : 815-835.
- [ 3 ] Potter C S, Randerson J T, Field C B, Matson P A, Vitousek P M, Mooney H A, Klooster S A. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4) : 811-841.
- [ 4 ] Yuan W P, Liu S G, Zhou G S, Zhou G Y, Tieszen L L, Baldocchi D, Bernhofer C, Gholz H, Goldstein A H, Goulden M L, Hollinger D Y, Hu Y M, Law B E, Stoy P C, Vesala T, Wofsy S C, other AmeriFlux collaborators. Deriving a light use efficiency model from eddy covariance flux data for predicting daily gross primary production across biomes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 143(3/4) : 189-207.
- [ 5 ] Wu C Y, Niu Z, Tang Q, Huang W J, Rivard B, Feng J L. Remote estimation of gross primary production in wheat using chlorophyll-related vegetation indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(6/7) : 1015-1021.
- [ 6 ] Xiao X M, Hollinger D, Aber J, Goltz M, Davidson E A, Zhang Q Y, Moore B III. Satellite-based modeling of gross primary production in an evergreen needleleaf forest. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89(4) : 519-534.
- [ 7 ] Xiao X M, Zhang Q Y, Braswell B, Urbanski S, Boles S, Wofsy S, Moore B III, Ojima D. Modeling gross primary production of temperature deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(2) : 256-270.
- [ 8 ] Xiao X M, Zhang Q Y, Hollinger D, Aber J, Moore B III. Modeling gross primary production of an evergreen needleleaf forest using MODIS and climate data. *Ecological Applications*, 2005, 15(3) : 954-969.
- [ 9 ] Xiao X M, Zhang Q Y, Saleska S, Hutyra L, De Camargo P, Wofsy S, Frolking S, Boles S, Keller M, Moore B III. Satellite-based modeling of gross primary production in a seasonally moist tropical evergreen forest. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 94(1) : 105-122.
- [ 10 ] Xu L L, Zhang X Z, Shi P L, Yu G R. The apparent quantum yield and the apparent maximum photosynthetic rate in the alpine meadow on Tibet Plateau. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2004, 34(Supplement II) : 125-130.
- [ 11 ] Li Z Q, Yu G R, Xiao X M, Li Y N, Zhao X Q, Ren C Y, Zhang L M, Fu Y L. Modeling gross primary production of alpine ecosystems in the Tibetan Plateau using MODIS images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 107(3) : 510-519.
- [ 12 ] Fu G, Shen Z X, Zhang X Z, You S C, Wu J S, Shi P L. Modeling gross primary productivity of alpine meadow in the northern Tibet Plateau by using MODIS images and climate data. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5) : 264-269.
- [ 13 ] Xie J, Liu J S, Du M Y, Kang S C, Wang K K. Analysis of the observation results of temperature and precipitation over an alpine mountain, the Lhasa River Basin. *Progress in Geography*, 2009, 28(2) : 223-230.
- [ 14 ] Xie J, Liu J S, Du M Y, Kang S C, Wang Z Y. Observation of summer precipitation along an altitudinal transect in southern slopes of Tanggula Mountains. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2009, 20(5) : 14-18.
- [ 15 ] Xie J, Liu J S, Du M Y, Wang Z Y. Altitudinal distribution of air temperature over a southern slope of Nyainqntanglha Mountains, Tibetan Plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(1) : 113-118.
- [ 16 ] Xu L L, Zhang X Z, Shi P L, Li W H, He Y T. Modeling the maximum apparent quantum use efficiency of alpine meadow ecosystem on Tibetan Plateau. *Ecological Modelling*, 2007, 208(2/4) : 129-134.
- [ 17 ] Shi P L, Sun X M, Xu L L, Zhang X Z, He Y T, Zhang D Q, Yu G R. Net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange and controlling factors in a steppe-*Kobresia* meadow on the Tibetan Plateau. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2006, 49(Supplement II) : 207-218.
- [ 18 ] Ohtsuka T, Hirota M, Zhang X Z, Shimono A, Senga Y, Du M Y, Yonemura S, Kawashima S, Tang Y H. Soil organic carbon pools in alpine to nival zones along an altitudinal gradient (4400—5300 m) on the Tibetan Plateau. *Polar Science*, 2008, 2(4) : 277-285.
- [ 19 ] Fu G, Shen Z X, Zhang X Z, Shi P L, Zhang Y J, Wu J S. Estimating air temperature of an alpine meadow on the Northern Tibetan Plateau using MODIS land surface temperature. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1) : 8-13.
- [ 20 ] Raich J W, Rastetter E B, Melillo J M, Kicklighter D W, Steudler P A, Peterson B J, Grace A L, Moore B III, Vörösmarty C J. Potential net primary productivity in South America: application of a global model. *Ecological Applications*, 1991, 1(4) : 399-429.
- [ 21 ] Wu W X, Wang S Q, Xiao X M, Yu G R, Fu Y L, Hao Y B. Modeling gross primary production of a temperate grassland ecosystem in Inner Mongolia, China, using MODIS imagery and climate data. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(10) : 1501-1512.
- [ 22 ] Falge E, Baldocchi D, Olson R, Anthoni P, Aubinet M, Bernhofer C, Burba G, Ceulemans R, Clement R, Dolman H, Granier A, Gross P, Grünwald T, Hollinger D, Jensen N O, Katul G, Keronen P, Kowalski A, Lai C T, Law B E, Meyers T, Moncrieff J, Moors E, Munger J W, Pilegaard K, Rannik Ü, Rebmann C, Suyker A, Tenhunen J, Tu K, Verma S, Vesala T, Wilson K, Wofsy S. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 107(1) : 43-69.

- [23] Goulden M L, Daube B C, Fan S M, Sutton D J, Bazzaz A, Munger J W, Wofsy S C. Physiological responses of a black spruce forest to weather. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D24): 28987-28996.
- [24] Zhang Y Q, Yu Q, Jiang J, Tang Y H. Calibration of Terra/MODIS gross primary production over an irrigated cropland on the North China Plain and an alpine meadow on the Tibetan Plateau. *Global Change Biology*, 2008, 14(4): 757-767.
- [25] Sims D A, Rahman A F, Cordova V D, Ei-Masri B Z, Baldocchi D D, Bolstad P V, Flanagan L B, Goldstein A H, Hollinger D Y, Misson L, Monson R K, Oechel W C, Schmid H P, Wofsy S C, Xu L K. A new model of gross primary productivity for North American ecosystems based solely on the enhanced vegetation index and land surface temperature from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(4): 1633-1646.
- [26] Almeida A C, Landsberg J J. Evaluating methods of estimating global radiation and vapor pressure deficit using a dense network of automatic weather stations in coastal Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 118(3/4): 237-250.
- [27] Tong X J, Li J, Wang L. A review on radiation use efficiency of the cropland. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(6): 1021-1028.
- [28] Tong X J, Li J, Yu Q. Analysis of bio-physical controls on light use efficiency in a farmland ecosystem. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(8): 1393-1401.
- [29] Heinsch F A, Zhao M S, Running S W, Kimball J S, Nemani R R, Davis K J, Bolstad P V, Cook B D, Desai A R, Ricciuto D M, Law B E, Oechel W C, Kwon H, Luo H Y, Wofsy S C, Dunn A L, Munger J W, Baldocchi D D, Xu L K, Hollinger D Y, Richardson A D, Stoy P C, Siqueira M B S, Monson R K, Burns S P, Flanagan L B. Evaluation of remote sensing based terrestrial productivity from MODIS using regional tower eddy flux network observations. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 2006, 44(7): 1908-1925.

#### 参考文献:

- [13] 谢健, 刘景时, 杜明远, 康世昌, 汪奎奎. 拉萨河流域高山水热分布观测结果分析. *地理科学进展*, 2009, 28(2): 223-230.
- [14] 谢健, 刘景时, 杜明远, 康世昌, 王忠彦. 念青唐古拉山南坡夏季降水梯度观测. *水资源与水工程学报*, 2009, 20(5): 14-18.
- [15] 谢健, 刘景时, 杜明远, 王忠彦. 念青唐古拉山南坡气温分布及其垂直梯度. *地理科学*, 2010, 30(1): 113-118.
- [27] 同小娟, 李俊, 王玲. 农田光能利用效率研究进展. *生态学杂志*, 2008, 27(6): 1021-1028.
- [28] 同小娟, 李俊, 于强. 农田生态系统光能利用效率及其影响因子分析. *自然资源学报*, 2009, 24(8): 1393-1401.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient .....	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area .....	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period .....	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China .....	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau .....	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine ( <i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.) .....	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue ( <i>Festuca arundinacea</i> ) growth under the salinization conditions .....	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances .....	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau .....	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient .....	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthos community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring .....	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China .....	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait .....	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors .....	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamya aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan .....	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland .....	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil .....	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland .....	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field .....	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period .....	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress .....	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain .....	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco .....	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut ( <i>Arachis hypogea</i> L.) .....	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost .....	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- 
- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) ..... DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)  
Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions ..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)  
Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland ..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)  
Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China ..... HU QiuHong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)  
Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic  
  *Microcystis aeruginosa* ..... HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)  
Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay ..... XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)  
A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery ..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)  
Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province ..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)  
CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies ..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean ..... HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)  
Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces ..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)  
Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust ..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soil carbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorges Reservoir Areas ..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)  
The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors ..... LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

# 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

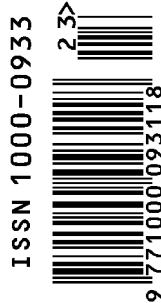
编辑部主任 孔红梅

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 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 23 2011

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