

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 31 卷 第 1 期  
Vol.31 No.1  
**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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 1 期      2011 年 1 月      (半月刊)

## 目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局 .....	缪 宁,刘世荣,史作民,等 ( 1 )
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较 .....	李帅锋,苏建荣,刘万德,等 ( 10 )
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化 .....	顾婷婷,孔繁翔,谭 啸,等 ( 21 )
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源 .....	樊敏玲,黄小平,张大文,等 ( 31 )
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布 .....	梁 文,张春华,叶祖超,等 ( 39 )
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系 .....	席本野,王 烨,贾黎明,等 ( 47 )
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征 .....	刘 彬,罗承德,张 健,等 ( 58 )
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应 .....	易小林,杨丙贤,宗学风,等 ( 67 )
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响 .....	于景华,李德文,庞海河,等 ( 75 )
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响 .....	李 凯,江 洪,由美娜,等 ( 82 )
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化 .....	孙海兵,毛志泉,朱树华 ( 90 )
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响 .....	王 冉,李吉跃,张方秋,等 ( 98 )
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性 .....	贾中民,魏 虹,孙晓灿,等 ( 107 )
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化 .....	赵成章,石福习,董小刚,等 ( 115 )
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}C$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示 .....	刘贤赵,王国安,李嘉竹,等 ( 123 )
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化 .....	荣 丽,李守剑,李贤伟,等 ( 137 )
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量 .....	周绍春,张明海,孙海义 ( 145 )
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响 .....	张玉波,王梦君,李俊清 ( 154 )
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化 .....	高梅香,张雪萍 ( 164 )
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较 .....	苗 进,武予清,郁振兴,等 ( 175 )
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应 .....	宁应之,杜海峰,王红军 ( 183 )
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术 .....	潘 杰,王 涛,宗世祥,等 ( 195 )
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异 .....	王燕平,李贵全,郭数进,等 ( 203 )
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响 .....	李廷亮,谢英荷,任苗苗,等 ( 212 )
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征 .....	罗永忠,成自勇,郭小芹 ( 221 )
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例 .....	谢花林,李秀彬 ( 230 )
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例 .....	杨 振 ( 239 )
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因 .....	王 千,金晓斌,周寅康,等 ( 247 )
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响 .....	罗友进,魏朝富,李 渝,等 ( 257 )
<b>专论与综述</b>	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性 .....	刘 宇,吕一河,傅伯杰 ( 267 )
美国煤矿废弃地的生态修复 .....	张成梁,B. Larry Li ( 276 )
农田土壤食物网管理的原理与方法 .....	陈云峰,胡 诚,李双来,等 ( 286 )
<b>学术信息与动态</b>	
旱地、荒漠和荒漠化:探寻恢复之路 ——第三届国际荒漠化会议述评 .....	吕一河,傅伯杰 ( 293 )

## 近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征

罗永忠<sup>1</sup>, 成自勇<sup>1,\*</sup>, 郭小芹<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733000)

**摘要:**根据甘肃省 69 个气象站 1971—2007 年温度和降水资料, 采用 Miami 模型、Thornthwaite Memorial 模型计算了全省温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力, 分析了影响气候生产潜力的气候驱动力, 用经验正交函数(EOF)分析其时空变化特征。结果表明: 温度生产潜力显著增加, 降水生产潜力略有减少, 平均气候生产潜力为  $733.86 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 呈逐渐减少趋势。区域差异性明显, 呈东南—西北递减, 陇南山区 > 陇东高原 > 陇中高原 > 甘南草原 > 河西走廊, 气候生产潜力以 1997 年为转型年。增湿和增温均有利于气候生产潜力的增加, 但增湿增益更为显著, 另气候的暖干化趋势是研究区气候生产潜力减少的重要原因。

**关键词:**气候生产潜力; Thornthwaite Memorial 模型; 经验正交函数; 时空特征; 甘肃省

### The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years

LUO Yongzhong<sup>1</sup>, CHENG Ziyong<sup>1,\*</sup>, GUO Xiaoqin<sup>2</sup>

1 College of Forestry in Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 Wuwei Meteorological Bureau. Wuwei 733000, China

**Abstract:** The potential climate productivity refers to the proper highest biological yield or agricultural yield in per unit area when climatic resources such as the light, heat, and water are fully used while the other conditions such as soil, nutrient, carbon dioxide, and so on are under the most suitable status. Gansu Province is the main dry land farming agricultural region in northwestern China. Because of the low natural productivity, its agricultural production still partly relies on climatic conditions, mainly depending on the environmental factors such as the light, heat and water resources and their changes. It has very important theoretical and practical significance in reasonably using of climatic resources, fully displaying the potential climatic productivity, improving productivity application level, and providing valuable advices for agricultural production to study the potential climatic dynamics and its main influence factors.

Based on the temperature and precipitation data in 69 meteorological stations during 1971 to 2007 in Gansu province, the temporal and spatial distribution of the potential temperature productivity, precipitation productivity, and climatic productivity and their dynamics were analyzed using Miami model and Thornthwaite Memorial model. At the same time, the spatial and temporal dynamics characteristics of potential climatic productivity in the recent 40 years were analyzed using the EOF function and the Mann-Kendall statistical method. Also, the driving forces to the dynamics of potential climatic productivity in Gansu province were analyzed. The results showed that the potential temperature productivity was significantly increased while the potential precipitation productivity was slightly decreased in the recent 40 years with their conversion year in 1997 and 1994. The mean potential climatic productivity in Hexi Corridor, Gannan Grassland, Middle Gansu Plateau, Eastern Gansu Plateau, Southern Gansu province were  $313.36$ ,  $741.72$ ,  $763.85$ ,  $867.52$ ,  $982.86 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , respectively. Besides, the potential climatic productivity was obviously increased from 1979 to 1996 with its conversion year in 1997, and the conversion year was 1997 while significantly and continually decreased from 1997 to 2007.

基金项目: 国家 863 计划项目(2002AA2Z4191)

收稿日期: 2010-04-28; 修订日期: 2010-11-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengzy@gsau.edu.cn

The correlation coefficients between the potential climatic productivity and the mean annual precipitation, and between the potential productivity and the mean annual temperature were 0.94 and 0.04, respectively. Therefore, the precipitation was the key factor to determine the potential climate productivity in Gansu province. The spatial distribution of potential climatic productivity in Gansu province was decreased from southeast to northwest, the minimum and maximum values marked in Dunhuang with  $74.52 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  and Huixian with  $1094.39 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , respectively, while the mean potential climate productivity of the whole province was  $733.86 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . According to the average distribution of potential climatic productivity, the maximum value was obtained in Southern Gansu province, followed by Eastern Gansu Plateau, Middle Gansu Plateau, Gannan Grassland and Hexi Corridor in order. Furthermore, both temperature and humidity increasing were beneficial to the agricultural production in the whole province with the temperature increasing effect of  $5.51 - 25.34 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  and the humidity increasing effect of  $27.89 - 34.49 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , and the humidity increasing effect was much more significant, especially having significant promotion to agricultural development in Hexi Corridor. Therefore, the precipitation was the main driving force to influence the potential climate productivity in Gansu province. In addition, the warmer and drier climatic changing trend can aggravate to the reduction of the potential climate productivity.

**Key Words:** climatic potential productivity; thornthwaite memorial model; EOF; spatiotemporal characteristic; Gansu Province

甘肃省地处黄土、青藏和蒙古三大高原交汇地带,是我国西北主要旱作农业区域。自然生产力水平较低,农业生产至今未能全面摆脱“靠天吃饭”的局面,农业生产主要取决于区域的光、热和水资源等环境因子及其变化<sup>[1]</sup>。在全球气候变暖背景之下,在现有生产力水平保持不变的前提下,植物生产潜力将会普遍下降<sup>[2-4]</sup>。作物产量下降、农业生产水资源短缺、粮食产量波动等一系列问题变得更为现实和迫切。因此,研究气候生产潜力变化规律及其主要影响因子,对于合理利用气候资源,充分发挥气候生产潜力,提高生产力应用水平,指导农业生产,具有重要的理论和现实意义。

气候生产潜力是指当其它条件(如土壤、养分、二氧化碳等)处于最适状况时,充分利用光、热、水气候资源时,单位面积土地上可能获得的最高生物学产量或农业产量<sup>[5-7]</sup>。基于气候资源的差异性,气候生产潜力必然具有差异性。近年来,国内外对气候生产潜力的研究已经取得不少成果<sup>[8-23]</sup>,并建立了一些比较成熟的模型<sup>[24-26]</sup>,如根据植物生产量与气温、降水相关而建立的 Miami 模型、表征农作物光温生产力的 Wagenigen 模型和农业生态区域 AEZ 模型、通过蒸散量模拟植物生产量的 Thornthwaite Memorial 模型等,为气候生产潜力的研究提供了重要的理论基础。由于 Miami 模型能够反映在自然状态下,水热单因子对潜在生产力的影响,Thornthwaite Memorial 模型以体现多个气象要素综合影响的年平均实际蒸散量来建模,涵盖了太阳辐射、温度降水、饱和度和风等气象因子,更接近生产实际,因此,本研究利用多年气象资料,运用 Miami 模型、Thornthwaite Memorial 模型分析全省温度生产潜力、降水生产潜力和气候生产潜力时空分布及其变化规律,同时利用 EOF 经验正交函数及 Mann-Kendall 非参数统计方法<sup>[17-18,27]</sup>,深入研究了近 40a 全省气候生产潜力的时空演变特征,并对甘肃省气候生产潜力变化的驱动力做了分析,为指导全省农业生产,因地制宜、充分利用气候资源、提高生产力水平及农业可持续发展创造有利环境。

## 1 区域概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

甘肃省土地面积  $45.44 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,地理位置介于  $32^{\circ}11' - 42^{\circ}57' \text{ N}$  和  $92^{\circ}13' - 108^{\circ}46' \text{ E}$  之间,境内地貌复杂,山地、高原、平川、河谷、沙漠、戈壁交错分布。年平均气温在  $0 - 16^{\circ} \text{ C}$  之间,年日照时数为  $1700 - 3800 \text{ h}$ ,年降水量在  $35 - 750 \text{ mm}$ ,降水多集中在 6—8 月份,占全年降水量的 50%—70%,气候资源分布极度不均。全省农业用地面积占 56%,人均占有耕地  $1806.7 \text{ m}^2$ ,主要作物有小麦、玉米、马铃薯、糜子、胡麻、甜菜、棉花、大麻、

当归、党参等。

甘肃地形狭长,按照气候、地形特征及地理位置可将全省划分为五大区域(图 1),其中陇南山区为暖温带湿润区,是秦岭的西延部分,包括成县、康县、徽县等地市;陇中高原为温带半湿润区,位于甘肃中部,包括永靖、永登、兰州等地市;陇东高原为温带半干旱区,陕、甘、宁三省(区)交汇处,居黄土高原西端,水土流失严重,包括环县、庆阳、平凉等地市;甘南草原为高寒湿润区,位于甘肃省西南部,南临四川,西界青海,以高寒草甸草原为主,包括夏河、东乡、广河等地市;河西走廊为暖温带干旱区,东起乌鞘岭,西至甘新交界处星星峡,南以祁连山、阿尔金山为界,北与内蒙古自治区相邻,绿洲、戈壁和沙漠广泛分布,包括马鬃山、敦煌、安西、玉门镇、鼎新、金塔、肃北、酒泉、高台、临泽、肃南、张掖、民乐、山丹、永昌、武威、民勤、古浪、乌鞘岭等地市。



图 1 甘肃省气候区划图

Fig. 1 Climate zoning map of Gansu Province

本文主要数据源为甘肃省 69 个气象台站温度与降水资料(1971—2007 年),该时段内数据完整,无缺失。

## 1.2 气候生产潜力模型

Miami 模型为:

$$Y_t = 3000 / (1 + e^{1.315 - 0.119t}) \quad (1)$$

$$Y_r = 3000 / (1 - e^{-0.000664r}) \quad (2)$$

式中, $t$  为年平均温度( $^{\circ}\text{C}$ ), $r$  为年降水量(mm), $e = 2.7183$ , $Y_t$ 、 $Y_r$  分别为由年平均温度、年降水量决定的生产潜力( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )。

Thornthwaite Memorial 模型为:

$$Y_e = 3000(1 - e^{-0.0009695(V-20)}) \quad (3)$$

$$V = 1.05R / [1 + (1.05R/L)^2]^{1/2} \quad (4)$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (5)$$

式中, $R$  为年平均降水量(mm), $L$  为年平均最大蒸散量(mm), $L$  是年平均温度  $T$  的函数, $Y_e$  为由蒸散量决定的生产潜力( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )。

## 1.3 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall 非参数统计方法的优点在于样本并不需要遵从一定的分布,也不受少数异常值干扰,检测范围宽、定量化程度高。

对具有  $n$  个样本量的时间序列  $X$ ,构造其秩序列:

$$S_k = \sum r_i \quad (k = 2, 3, \dots, n; i = 1, 2, \dots, k) \quad (6)$$

其中,当  $x_i > x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, i$ ) 时, $r_i = 1$ ; 否则  $r_i = 0$

定义统计量  $UF_k = [S_k - E(S_k)] / (\text{Var}(S_k))^{1/2} \quad (k = 1, 2, \dots, n)$  (7)

其中, $UF_1 = 0$ ,  $E(S_k)$ 、 $\text{Var}(S_k)$  是  $S_k$  的均值和方差。 $UF_i$  为标准正态分布,给定显著性水平  $\alpha$ ,若  $|UF_i| > U_{\alpha}$ ,则序列存在明显的趋势变化。

## 1.4 EOF 经验正交函数

EOF 经验正交函数又称为主分量分析方法,在对变量场特征进行分解时能将多个变量的大部分信息最大限度地集中在有限个独立变量的主分量上,即将  $m$  个空间点  $n$  次观测值构成变量  $X_{m \times n}$  分解为  $p$  个空间特征向量和对应的时间权重系数的线性组合: $X_{m \times n} = V_{m \times p} T_{p \times n}$

$$A = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \Lambda & 0 \\ M & M & \Lambda & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda & 0 \end{pmatrix}$$

记

$$A = X \cdot X^T \quad (8)$$

$V^T A V = \Lambda$ , 其中  $V, \Lambda$  分别是  $A$  阵特征向量组成的正交阵(即空间函数)和特征值组成的对角阵。时间函数满足  $T \cdot T^T = \Lambda$ , 则  $T = V^T \times X$

### 1.5 气候生产潜力的驱动力分析

以 Thornthwaite Memorial 气候生产潜力模型为基础,假定在降水不变的条件下,温度每增加  $1^\circ\text{C}$ ,气候生产潜力的变化定义为  $\Delta Y_1$ ;在温度不变时,降水每增加  $10\text{mm}$ ,气候生产潜力的变化定义为  $\Delta Y_2$ ,前者表示增温效应,后者表示增湿效应,模拟气候生产潜力在该条件下的变化情况,即气候生产潜力的驱动效应。

## 2 特征分析

### 2.1 温度生产潜力与降水生产潜力特征

根据 Miami 模型对全省温度生产潜力( $Y_t$ )与降水生产潜力( $Y_r$ )平均状况进行分析(图2),可以看出:(1)近40a温度生产潜力趋势显著增加( $Y_t = 3.5621X + 1161.3$ ),降水生产潜力略有减少( $Y_r = -0.6892X + 689.74$ );(2)通过累积距平分析发现,温度生产潜力转折点为1997年,其中1971—1996年倾向系数1.1547,1997—2007年倾向系数1.4997;而降水生产潜力转折点为1994年,1971—1993年倾向系数-1.293,1994—2007年倾向系数6.6661,生产潜力发生了显著变化,这实质上是对气候变化的积极响应。

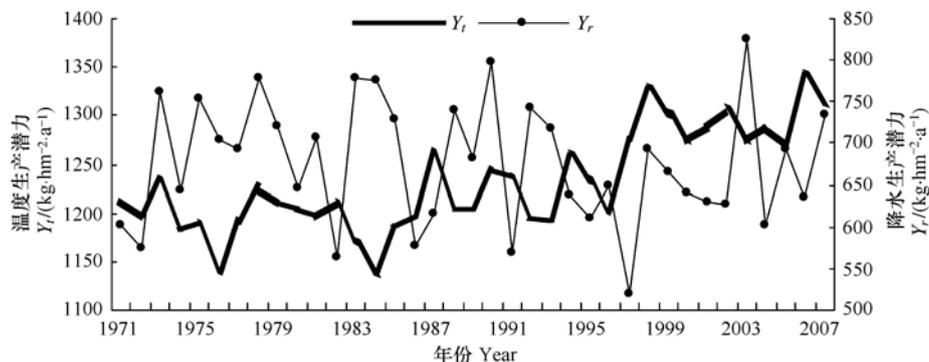


图2 甘肃省温度生产潜力( $Y_t$ )与降水生产潜力( $Y_r$ )变化趋势

Fig. 2 The changing trend of Temperature potential productivity ( $Y_t$ ) and precipitation potential productivity ( $Y_r$ ) in Gansu

### 2.2 气候生产潜力特征

根据 Thornthwaite Memorial 模型对研究区各地的气候生产潜力计算得出,平均气候生产潜力河西走廊为  $313.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,甘南草原为  $741.72 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,陇中高原为  $763.85 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,陇东高原为  $867.52 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,陇南山地为  $982.86 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。用 Mann-Kendall 非参数检验分析发现,1979—1996年气候生产潜力明显增加;1997年是转型点,1997—2007年气候生产潜力显著减少且趋势具有持续性。对气候生产潜力与年均气温和年均降水量进行 Pearson 相关分析可知,其与研究时段年均温度相关系数为 0.04,年均降水量相关系数为 0.94 ( $R = 0.5686 > R_{0.01}$ ),因此,降水量是决定甘肃省气候生产潜力的主导因子。

为了分析气候生产潜力与实际粮食产量的关系,验证气候生产潜力估算的精度,本研究利用甘肃省 62 个县市 1999—2002 年 4 a 平均粮食单产与气候生产潜力作双轴曲线进行对比(图3),结果表明:除河西走廊外,研究区粮食实际单产多不足气候生产潜力的 30%,但二者的变化趋势基本一致,相关性显著 ( $R = 0.696^{**}$ ),这意味着这些地区粮食产量受气候变化的制约影响,只要充分利用好气候资源,粮食单产的提高尚有足够的空间;河西走廊属于灌溉农业区,粮食生产不仅依赖于气候资源,还依赖于水资源的调配和利用,

气候对粮食产量不是唯一的影响因子,在灌溉水的协同作用下,气候利用率更高,因此河西走廊金塔、酒泉、高台、临泽等地实际产量甚至高于气候产量,这也是河西走廊成为重要产粮区的原因之一。

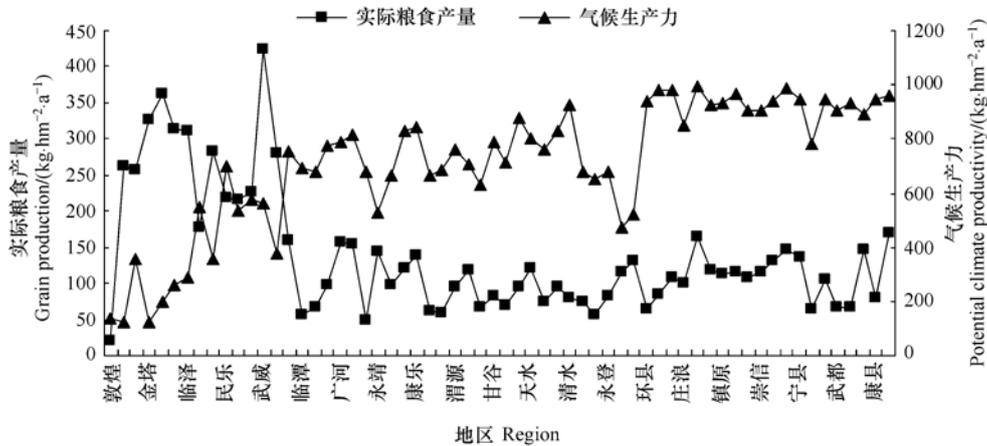


图3 甘肃省气候生产潜力与粮食单产对比分析

Fig. 3 Contrast between grain production and potential climate productivity

### 2.3 气候生产潜力区域分布特征

研究区气候生产潜力空间分布呈东南—西北递减趋势,最低值出现在河西走廊的敦煌( $74.52 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ),最高值出现在水热条件较好的陇南山地的徽县( $1094.39 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ),全省平均为  $733.86 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。如果忽略地形影响,从气候生产潜力平均分布状况看,陇南山区 > 陇东高原 > 陇中高原 > 甘南草原 > 河西走廊 (图4)。

河西走廊在 20 世纪 80—90 年代为减少时段,2000 年以来为增加明显;甘南草原持续缓慢增加;陇中陇东高原 90 年代明显减少,2000 年以来略有增加;陇南山区 80 年代增加显著,90 年代以后减少明显。

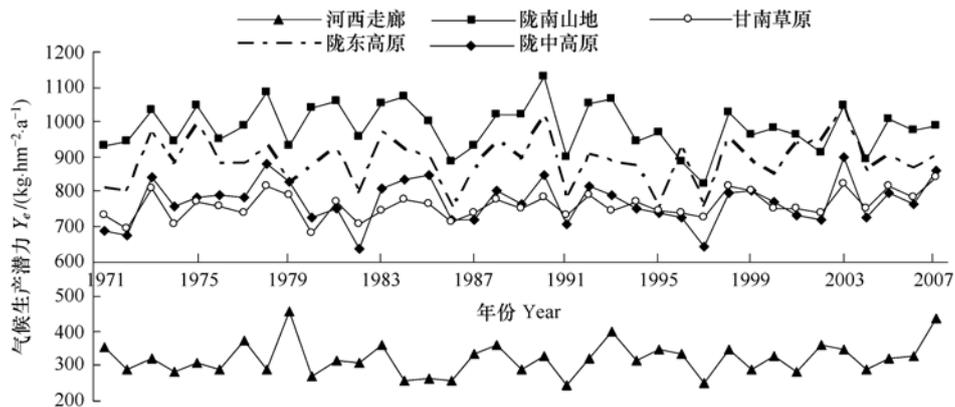


图4 区域气候生产潜力分布图

Fig. 4 The regional potential climate productivity change

### 2.4 气候生产潜力 EOF 变化特征

对研究区气候生产潜力进行 EOF 分析,在特征向量方差贡献值中第一特征向量累计方差为 99.31%,可以认为在甘肃省气候生产潜力场中使用第一特征向量就足以揭示对象的整体分布特征。

气候生产潜力第一特征向量的空间分布图(图5)表明,全省气候生产潜力表现出高度一致性( $\lambda_i > 0$ ),总体形成南高北低、东多西少的分布特征,但地理差异依然明显,在东、西两端分别有一个极值中心:高值区在陇南山地的徽县-康县附近,低值区在河西走廊的敦煌一带,等值线在酒泉-民乐之间分布密集,说明河西走廊中

部气候生产潜力受地理环境影响变化很大,区域特征差异显著,农业生产状况地域性明显。

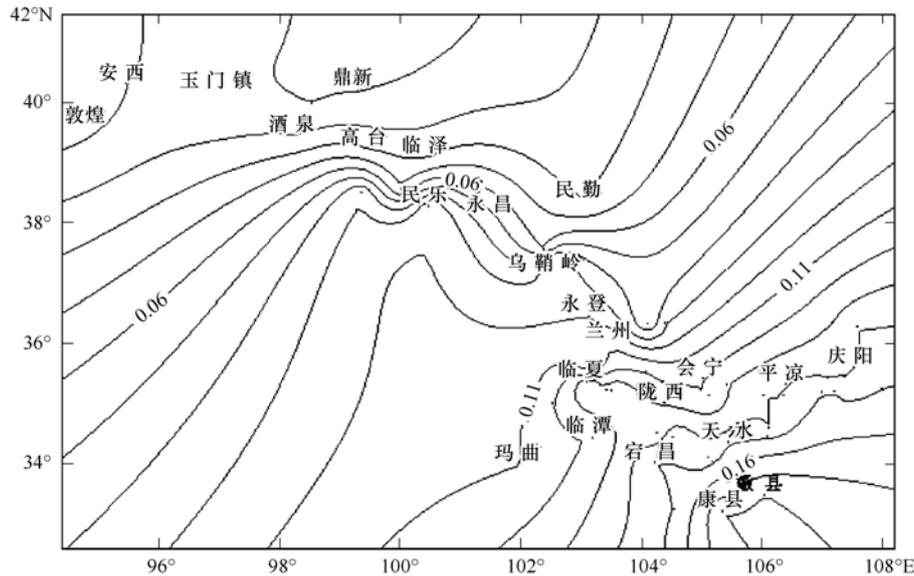


图5 甘肃省气候生产潜力 EOF 第一特征向量空间分布

Fig. 5 The first eigenvector changes of EOF spatial distribution of potential productivity in Gansu

对第一特征向量对应的时间序列值进行累积距平分析(图6),可以看出,过去40a来甘肃省气候生产潜力呈逐渐减少的变化趋势,倾向系数为 $-7.84$ ,其中1990年、1997年分别是极大值、极小值年份。具体来说,70年代后期到90年代中期属于气候生产潜力的高值期,虽然期间亦有明显波动,但总体呈上升趋势;1993—1997年急剧下降,1997年达到最低,1998—2007年有所增加,但增幅较小。气候生产潜力的时间系数特征与气候密切相关,尤其与降水量显著相关,其相关性达到96.2%,且通过0.01信度检验,进一步表明降水是影响气候生产潜力变化的最关键因素。

## 2.5 气候变化对气候生产潜力的驱动

为了进一步探讨气候生产潜力受单要素影响的变化,基于气候生产潜力模型,模拟气候生产潜力在气候变化条件下的变化情况,即气候生产潜力的驱动效应,可以看出:

(1)河西走廊、甘南草原、陇中高原、陇东高原、陇南山地在增温驱动下气候生产潜力增益分别为5.51、26.86、20.35、23.93、25.34,在增湿驱动下增益分别为27.89、34.22、31.22、33.14、34.49,增湿增温均有利于全省农业的发展,但增湿增益更为显著,尤其对河西走廊农业发展具有促进作用。

(2)在增温驱动下形成3个显著的增益中心:最大中心在甘南草原的玛曲附近(37.18);次大中心在陇南山区的康县-徽县,最后为河西走廊东部的乌鞘岭一带。河西走廊西部地区尤其是临近沙漠边缘地带,增温使其气候生产潜力增幅几乎为零(图7),这意味着气候变暖将严重抑制这一地区的农业发展进程。

(3)增湿驱动下最大值是玛曲和康县( $>40$ ),陇南山区和甘南草原两个高值区的覆盖范围增大并逐步向陇中、陇东高原地区延伸,增湿驱动尤其使河西走廊中西部地区增益显著(图8)。可以认为降水是全省农业发展的主要驱动力,降水增加将能有效提高气候生产潜力,极大的改善农业生产收益。

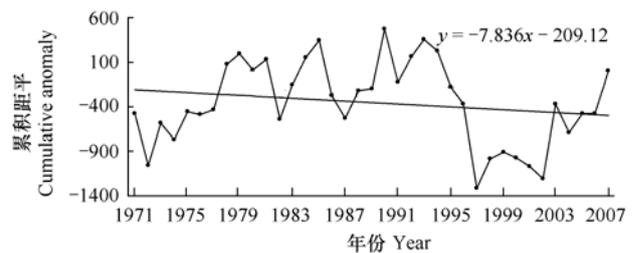


图6 甘肃省气候生产潜力 EOF 第一特征向量时间系数累积距平变化

Fig. 6 The time coefficients cumulative anomaly of EOF first eigenvector of the climate potential productivity in Gansu

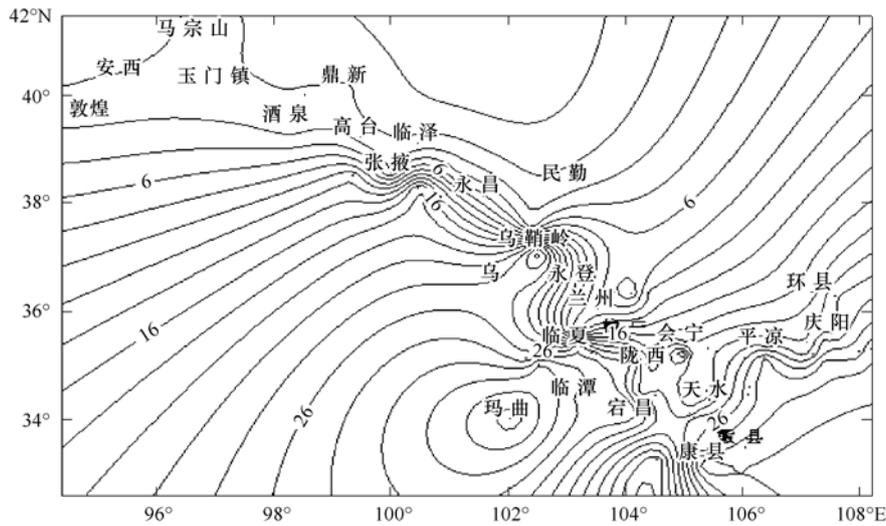


图 7 气温升高对甘肃气候生产潜力的驱动效应

Fig. 7 The driving effect of potential climate productivity with warming

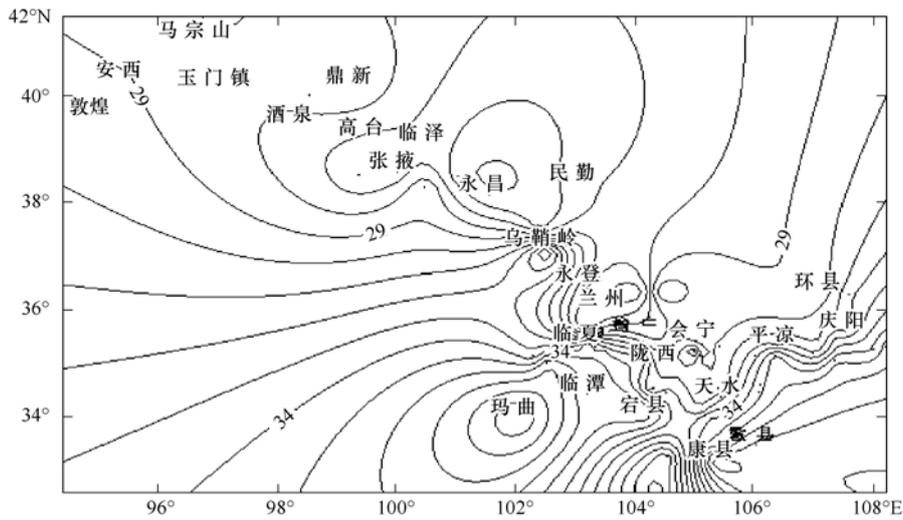


图 8 降水增加对甘肃气候生产潜力的驱动效应

Fig. 8 The driving effect of potential climate productivity with precipitation increasing

### 3 结论与讨论

(1) 甘肃省平均气候生产潜力为  $733.86 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 空间分布为陇南山区 > 陇东高原 > 陇中高原 > 甘南草原 > 河西走廊; 气候生产潜力时间特征总体表现为单峰曲线, 1979—1996 为升高时期, 1997 年是转折点, 1997—2007 年气候生产潜力持续降低。气候生产潜力与实际产量相关系数为 0.696。

(2) 气候变化对气候生产潜力的驱动分析表明, 增湿和增温对全省农业均具有正效应, 增温效应为 5.51—25.34, 增湿效应为 27.89—34.49, 增湿效应更为显著, 尤其对河西走廊农业发展具有促进作用。增温驱动有 3 个增益中心: 甘南草原西南部、陇南山地东南部、河西走廊东部, 这些地区由于常年温度较低, 温度是限制作物生长的主要因素, 故增温对气候生产潜力的驱动较大。河西走廊西部由于地处沙漠边缘, 高温干旱使植物生长缓慢, 其增温增益几乎为零, 而一旦遇到降水, 植物即可迅速吸收水分, 达到较大的生长量, 故河西走廊中西部地区增湿增益显著。增湿驱动下陇南山地和甘南草原两个高值区的覆盖范围增大并逐步向陇中、陇东高原延伸。

(3)年均降水量与气候生产潜力相关系数达0.938,而年均气温与气候生产潜力相关系数仅为0.04,降水是研究区气候生产潜力变化的主要驱动力。

由于降水是研究区气候生产潜力变化的主要驱动力,降水增加将会有效提高气候生产潜力,极大的改善农业生产收益,因此实施旱作农业节水、改善并充分利用好有限的水资源是保障农业大面积增产的关键所在。研究区区域性差异大,气候生产潜力与农业生产活动的差异性及其针对性特征明显,依据气候生产潜力特征分析结果,提出如下措施:

(1)河西走廊应加快农业节水技术的推广与转化,突出农艺节水和生物节水技术的研究与推广,以土壤水分调控为中心,把重点控制灌溉水深层渗漏转移到抑制区域水分的无效蒸发及作物光合水分利用效率的提高上,大力研究和推广节水型种植结构调整、调亏灌溉、免耕覆盖种植、设施农业等适应干暖气候条件下的高效节水农业技术体系,充分利用该区域气候资源。

(2)陇中与陇东高原开展以推广玉米双垄沟播、全覆盖等旱作农业为重点的技术体系,加快农业抗旱体系建设,继续加大水利基础设施建设力度,提高抗旱节水能力,通过间作、套种等加大复种面积,提高对气候资源的利用效率,为气候干化背景下农业可持续发展创造有利环境。

(3)陇南山地要发展集雨灌溉为主的雨养生态农业,大力推广经济作物,促进用水结构的合理调整,充分利用该区域较丰富的降水。

(4)甘南草原应提高对气候资源的利用效率,把生态环境保护与建设作为重点,加大畜牧业生产。

气候的暖干化趋势对研究区未来农业发展提出了严峻的挑战。为此,研究区必须科学调整农业生产格局,趋利避害,因地制宜,为充分利用气候资源、提高生产力水平及农业可持续发展创造有利环境。

#### References:

- [ 1 ] Den K H, Jiu H, Xiong W, Yang X. The Impacts of Climate Change on Agriculture in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(5): 439-441.
- [ 2 ] Tao B, Li K R, Shao X M, Cao M K. Temporal and Spatial Pattern of Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 372-380.
- [ 3 ] Li D L, Liu L Z. Climate Characters and Evolution of Agricultural and Pasturing Interlaced Zone in China. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(5): 483-488.
- [ 4 ] Edward B B. Links between economic liberalization and rural resource degradation in the developing regions. *Agricultural Economics*, 2000, 23: 299-310.
- [ 5 ] Huang B W. Study on agricultural production potential//Shang Y L. Study on china's population carrying capacity of land resources. China Science and Technology Press, 1992: 13-16.
- [ 6 ] Hou X Y. Temporal and spatial dynamics of climatic potential productivity in China from 1951 to 2000. *Arid Land Geography*, 2008, 31(5): 723-729.
- [ 7 ] Xiao G Q, Zhang Q, Wang J. Impact of global climate change on agro-ecosystem: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1877-1885.
- [ 8 ] Jia W X, He Y Q, Li Z S, Pang H X, Ruan L L, Ning B Y, Song B, Zhang N N. Spatio-temporal Distribution Characteristics of Climate Change in Qilian Mountains and Hexi Corridor. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(6): 1151-1154.
- [ 9 ] Barnum H. A model of an agricultural household: theory and evidence. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1979.
- [ 10 ] Wu Y L, Lu S X. Spatial-Temporal Changing Characteristics of The Evapotranspiration Climate Potential Productivity in Shanxi Province During Last 45 Years. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(2): 567-571.
- [ 11 ] Guo J P, Gao S H, Liu L. Research on climate change on pine potential production. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(2): 129-131.
- [ 12 ] Lu K D, Qu Y M, Zhang C, Wang B, Tang Y. Responses of crops productive potential to climatic change in Hunan Province. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2007, 33(1): 9-13.
- [ 13 ] Yao Y B, Li Y H, Wang Y R, Zhang X Y, Li Y B, Wei F. Effects of the climate and climatic productivity in the Loess Plateau of China on global climate change. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(2): 202-208.
- [ 14 ] Gao S H, Pan Y R, Guo J P. The Variation of Plant Climate Productivity for the Last 40 Years and the Effects of Climate Change in China.

- Meteorological Monthly,1994,20(1):30-33.
- [15] Liu D X, Dong A X, Xue W X, Zhang P L, Fei X L. Impact of Climate Warming on Agriculture in Gansu Province. Progress in Geography, 2005, (2):49-58.
- [16] Shiferaw B, Holden S. Resource degradation and adoption of land conservation technologies in the Ethiopian Highlands: A case study in Andit Tid, North Shewa. Agriculture Economics,1998,18(3):233-247.
- [17] Kim K, Barham B L, Coxhead I. Measuring soil quality dynamics: A role for economists, and implications for economic analysis. Agricultural Economics,2001,25(1):13-26.
- [18] Zhang Q, Deng Z Y, Zhao Y D, Qiao J. The impacts of global climatic change on the agriculture in northwest China. Acta Ecologica Sinica, 2008, (03):1210-1218.
- [19] Deng Z Y, Zhang Q, Liu D X, Pu J Y, Guo H, Zhuang Y F, Zhang M C, Zhang H L. Effects of Climate Warming on Cropping Structure and Crop Growth in Gansu Province. Journal of Desert Research, 2007, (04):627-632.
- [20] Liu D X, Zhao H Y, Dong A X, Yang S H. Impact of Climate Warming on Summer-Autumn Crop Planting Structure in Gansu Province. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, (06):806-812.
- [21] Su Z S, Cheng X G, Huang F, Yang S P. Response of Grassland Productivity to Climate Change in Farming-Pasturing Interlaced Area of Ningxia. Journal of Desert Research,2007, (03):430-435.
- [22] Hou Q, Guo R Q, Yang L T. Climate Change and Its Impact on Main Crops in Inner Mongolia. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, (04):560-564.
- [23] Cheng G N. The initial attempt to estimate biological productivity in China with Miami model. Journal of Natural Resources,1987,2(3):270-278.
- [24] Zhao A, Zhao X M. Analysis on the Modeling and Application of Calculation of Potential Net Biomass and Potential Yield Through FAO-AEZ Methodology. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,1998,20(4):528-533.
- [25] Lin Z H, Mo X G, Xiang Y Q. Research Advances on Crop Growth Models. Acta Agronomica Sinica,2003,29(5):750-758.
- [26] Leith H. Modeling the primary productivity of the world. Nature and Resources,1972,8(2):5-10.
- [27] Wei F Y. Modern diagnosis and prediction of climate statistics. Beijing: Meteorological Press,2007: 1-269.

#### 参考文献:

- [1] 邓可洪,居辉,熊伟,杨修. 气候变化对中国农业的影响研究进展. 中国农学通报,2006,22(5):439-441.
- [2] 陶波,李克让,邵雪梅,曹明奎. 中国陆地净初级生产力时空特征模拟. 地理学报,2003,58(3):372-380.
- [3] 李栋梁,吕兰芝. 中国农牧交错带的气候特征与演变. 中国沙漠,2002,22(5):483-488.
- [5] 黄秉维. 关于农业生产潜力研究//石玉林. 中国土地资源的人口承载能力研究. 北京:中国科学技术出版社,1992:13-16.
- [6] 侯西勇. 1951-2000年中国气候生产潜力时空动态特征. 干旱区地理,2008,31(5):723-729.
- [7] 肖国强,张强,王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展. 应用生态学报,2007,18(8):1877-1885.
- [8] 贾文雄,何元庆,李宗省,庞洪喜,阮玲玲,宁宝英,宋波,张宁宁. 祁连山及河西走廊气候变化的时空分布特征. 中国沙漠,2008,28(6):1151-1154.
- [10] 武永利,卢淑贤. 近45年山西省气候生产潜力时空变化特征分析. 生态环境学报,2009,18(2):567-571.
- [11] 郭建平,高素华,刘铃. 气候变化对红松气候生产潜力的影响研究. 中国生态农业学报,2003,11(2):129-131.
- [12] 陆魁东,屈右铭,张超,王勃,汤宇. 湖南气候变化对农作物生产潜力的响应. 湖南农业大学学报(自然科学版),2007,33(1):9-13.
- [13] 姚玉璧,李耀辉,王毅荣,张秀云,李耀邦,魏锋. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应. 干旱地区农业研究,2005,23(2):202-208.
- [14] 高素华,潘亚茹,郭建平. 气候变化对植物气候生产力的影响. 气象,1994,20(1):30-33.
- [15] 刘德祥,董安祥,薛万孝,张平兰,费晓玲. 气候变暖对甘肃农业的影响. 地理科学进展,2005,(02):49-58.
- [18] 张强,邓振镛,赵映东,乔娟. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响. 生态学报,2008,(03):1210-1218.
- [19] 邓振镛,张强,刘德祥,蒲金涌,郭慧,张宇飞,张谋草,张惠玲. 气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响. 中国沙漠,2007,(04):627-632.
- [20] 刘德祥,赵红岩,董安祥,杨苏华. 气候变暖对甘肃夏秋季作物种植结构的影响. 冰川冻土,2005,(06):806-812.
- [21] 苏占胜,陈晓光,黄峰,杨淑萍. 宁夏农牧交错区(盐池)草地生产力对气候变化的响应. 中国沙漠,2007,(03):430-435.
- [22] 侯琼,郭瑞清,杨丽桃. 内蒙古气候变化及其对主要农作物的影响. 中国农业气象,2009,(04):560-564.
- [23] 陈国南. 用迈阿密模型测算我国生物生产力的初步尝试. 自然资源学报,1987,2(3):270-278.
- [24] 赵安,赵小敏. FAO-AEZ法计算气候生产潜力的模型及应用分析. 江西农业大学学报,1998,20(4):528-533.
- [27] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京:气象出版社,2007:231-269.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 1 January, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

- Spatial pattern analysis of a *Rhododendron-Abies* virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China ..... MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al ( 1 )
- Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest ..... LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wandu, et al ( 10 )
- Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake ..... GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al ( 21 )
- Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China ..... FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al ( 31 )
- Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi ..... LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al ( 39 )
- Property of root distribution of triploid *Populus tomentosa* and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme ..... XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al ( 47 )
- Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River ..... LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al ( 58 )
- Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty ..... YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al ( 67 )
- Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of *Taxus chinensis* var. *mairei* ..... YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al ( 75 )
- Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* ..... LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al ( 82 )
- Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf ..... SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua ( 90 )
- Growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods ..... WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al ( 98 )
- Accumulation and tolerance of *Salix variegata* and *Pterocarya stenoptera* seedlings to cadmium ..... JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al ( 107 )
- Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China ..... ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al ( 115 )
- Relationship between temperature and  $\delta^{13}\text{C}$  values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China ..... LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al ( 123 )
- Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands ..... RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al ( 137 )
- Prey biomass of the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China ..... ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi ( 145 )
- The impact of conservation projects on giant Panda Habitat ..... ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing ( 154 )
- Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment ..... GAO Meixiang, ZHANG Xueping ( 164 )
- Comparative of feeding behaviors of *Sitobion avenae*, *Sitobion graminum* and *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG) ..... MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al ( 175 )
- Toxic effects of *ent*-kaurane diterpenoids on soil ciliate communities ..... NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun ( 183 )
- Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of *Dendroctonus valens* population ..... PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al ( 195 )
- Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi ..... WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al ( 203 )
- Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland ..... LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al ( 212 )
- The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years ..... LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin ( 221 )
- Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county ..... XIE Hualin, LI Xiubin ( 230 )
- Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China ..... YANG Zhen ( 239 )
- Spatial differences and its driving factors of energy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province ..... WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al ( 247 )
- Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area ..... LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al ( 257 )
- Review and Monograph**
- Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion ..... LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie ( 267 )
- Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States ..... ZHANG Chengliang, B. Larry Li ( 276 )
- Managing farmland soil food web: principles and methods ..... CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al ( 286 )

# 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 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 1 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

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**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

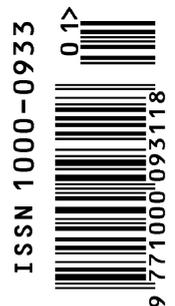
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**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



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