

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

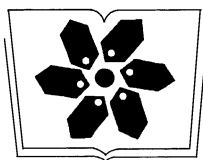
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
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 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

区域气候变化统计降尺度研究进展

朱宏伟¹, 杨森², 赵旭喆², 熊友才^{1,2}, 王绍明¹, 张霞^{1,*}

(1. 石河子大学生命科学学院, 石河子 832003; 2. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要:统计降尺度方法(the Statistical Downscaling Methods, SDM)是为合理预测区域尺度的气候变化情景而提出的新型研究方法。统计降尺度法利用多年大气环流的观测资料建立大尺度气候要素和区域气候要素之间的统计关系,并用独立的观测资料检验这种关系的合理性。把这种关系应用于大气环流模式(Global atmospheric general circulation models, GCMs)中输出大尺度气候信息,来预估区域未来的气候变化情景(如气温和降水)。同时,10a来降尺度方法在生态过程模拟以及气候变化与生态预报关系拟合研究方面也取得一定进展。对统计降尺度方法概念的内涵和外延、基本原理和操作步骤的创新研究方面进行了综述,归纳了该方法在模拟区域气候变化中的应用进展、研究热点及发展趋势,介绍了降尺度在生态预报中的相关应用,为相关研究提供参考。

关键词:全球变化;区域气候预测;统计降尺度法;生态预报;研究进展

Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods

ZHU Hongwei¹, YANG Sen², ZHAO Xuzhe², XIONG Youcai^{1,2}, WANG Shaoming¹, ZHANG Xia^{1,*}

1 College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China

2 MOE Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: The statistical downscaling methods (SDMs) are reasonable forecast tools which were recently proposed for climate change scenarios at a regional scale. The SDM are used to establish large-scale climate factors, the regional statistical relationship between the climate factors using years of observations of atmospheric circulation, and to test the suitability of this relationship using independent observations. Furthermore, the relationship is applied to atmospheric general circulation models (Global atmospheric general circulation models, GCMs) to produce large-scale climate information and predict future regional climate change scenarios (such as temperature and precipitation). In recent years, a variety of sophisticated statistical downscaling methods have been developed to meet the needs of domestic and international climate prediction programs and to provide effective support for regional ecosystem management. However, the choice of different statistical methods in a particular region must be highly targeted and effective. It is widely accepted that reasonable and consistent meteorological input data is a critical factor for modeling regional climate change at different levels. Previous studies showed that the GCMs provide the means of estimating climate change in the future by providing a time series of climatic variables. However, there are two main problems if GCM outputs are directly used for regional impact studies: 1) they are biased with respect to observations of present climate, and 2) the spatial scale is frequently too coarse. Therefore, dynamic downscaling methods employ regional climate models (RCMs), using the output of GCMs as forcing and boundary conditions. The RCMs provide sufficient information for ecological and hydrological modeling of the impact of expected climate change at different levels. Over the last decade, quite a few studies on the SDMs have been conducted and applied in ecological prediction. The recently proposed theory "coupling human and natural systems" provides us with the possibility of incorporating the SDM in ecological prediction. In this paper, we designed a flow chart to illustrate the method of ecological forecasting. Due to the complexity of ecological processes, we collected a series of factors including social and

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(973项目)(2009CB825101);国家自然科学基金项目(30670321)

收稿日期:2010-10-31; **修订日期:**2011-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiazh@shzu.edu.cn

natural factors which influence the changes in ecosystem and regional climate. The model proposed here will undoubtedly validate and emphasize the importance of the accuracy of the results on ecological forecasting. In the past 10 years, some scholars have developed new techniques or methods to forecast ecological phenomena, such as biological invasion, agro-ecological safety, forest carbon sinks, biological diversity change, the ecological carrying capacity and other forecasts. Significant breakthroughs have been achieved in the SDMs of the interactions between climate change and ecological forecasts. Recent advances on connotation and extension of the concept, basic principles and operating procedures of SDMs were summarized. This paper summarizes the applicable progress, hot issues and developmental trends of the SDMs in simulating regional climate change. The review provides some initial approaches for the construction of meteorological and ecological prediction models and serves as a reference for related research.

Key Words: global change; estimation of regional climate; statistical downscaling methods; ecological forecasts; advances

全球变化已经影响到人类生存环境的各个方面,其中全球气候变暖及其影响空间幅度的差异,必然引起区域降水和气温的变化。全球气候变暖对全球水循环过程产生了重要影响,并直接影响到生态、社会、经济等和人类活动相关的各个方面^[1]。对气候变化趋势的准确预报和分析是减灾、防灾的重要前提。在研究初期,相关工作主要针对大气环流模式(GCMs)进行系统分析,对高层大气场、近地面温度和大气环流进行集成模拟。然而,由于GCMs方法输出的空间分辨率较低(一般为200 km×200 km),缺少区域气候信息,因而其应用受到限制,很难对区域气候情景做出有效预估^[2]。

目前有两种方法可以弥补GCMs模式对区域气候情景预估的不足,并对小尺度地理范围内未来气候变化趋势进行准确预测。其中一种是发展更高分辨率的GCMs模式^[3],另一种方法就是降尺度法。由于提高GCMs模式的空间分辨率需要很大的计算量,降尺度法就成为首选的方法。降尺度法是基于这样一种观点:区域气候变化情景是以大尺度(如大陆尺度甚至行星尺度)气候为背景条件的,它就是把大尺度、低分辨率的全球海气耦合模式(Coupled General Circulation models, AOGCM)输出信息转化为区域尺度的地面气候变化信息(如气温、降水),从而弥补AOGCM对区域气候情景评估的局限^[4-5]。目前应用的降尺度法共有3种^[6]:一种是动力降尺度法;第二种是统计降尺度法;第三种是统计与动力相结合的降尺度法^[7]。这3种降尺度法的共同点就是都需要GCMs模式提供大尺度气候信息。动力降尺度法就是利用与AOGCM耦合的区域气候模式(Regional climate model, RCM)来预估区域未来气候变化情景,它的优点就是物理意义明确,能应用于任何地方而不受观测资料的影响,也可应用于不同的分辨率。但它的缺点就是计算量大、费机时;区域模式的性能受AOGCM提供的边界条件的影响很大,区域耦合模式在应用于不同的区域时需要重新调整参数^[8]。统计降尺度法(the Statistical Downscaling Methods, SDM)具有多种已经应用较为成熟的技术,它使用方便,成本低廉,因此在预估未来气候情景中应用的是最为广泛的^[9]。当然二者在应用中各有优缺点^[10],在具体的案例中应当区别对待。

在全球变化的影响下,区域气候变化的不确定在增加,生态系统本身是一个包含物理、化学和生物组成及其相互作用的复杂系统,现代人类社会作用于自然生态系统的方式越来越多样化,作用强度和影响也越来越大。气候影响多种的生态过程,这些影响通过局部天气状况比如温度、风力、降雨、降雪和海洋洋流以及它们之间的相互作用产生作用^[11]。有学者把生态过程发展趋势的评估称作“一种新生的需要”,如同天气预报,称之为生态预报^[12]。已在气候预测中成功应用的降尺度技术在评估生态过程及后果的应用中期待有成熟技术的建立。

1 统计降尺度方法的特点及基本操作

统计降尺度法也称统计预测降尺度法或者经验降尺度法,它是由大尺度气候信息(主要是大气环流和海洋洋流)获取小尺度气候信息的有力工具。局地未来特定时间内气候状况是以大尺度气候为背景的,并且受当地地形特点、植被分布、水文条件等影响。该方法利用多年的观测资料建立大尺度气候状况和区域气候要

素之间的统计关系,通过尺度转换来预估区域未来的气候变化情景(如气温和降水)。简单地说,就是需要建立大尺度气候预报因子与区域气候预报变量间的统计函数关系式:

$$y=F(x)$$

式中, x 代表大尺度气候预报因子, y 代表区域气候被预报变量, F 为建立的大尺度气候预报因子和区域气候预报变量间的一种统计关系,是建立合理函数关系的关键。作为经验函数模型,统计降尺度方法要求被观测地点具有丰富的观测资料来建立统计模式,而且在给定的范围内,大尺度气候要素与区域气候要素需要呈显著相关^[13]。

尽管在统计降尺度方法的应用研究中常用的统计方法很多,但大多数统计方法的应用步骤是大体一致的。统计降尺度法第一步就是选择要预测的气候变量以及预测区域,即大尺度预报因子的确定和区域的确定。选择的气候变量必须是可预测的,而且是受大尺度气候状况控制的,同时必须确保该气候变量和研究区域有足够和广泛的观测资料用于建立统计降尺度模式。统计降尺度法应用最多的是对气温的研究^[5,10,14],其次是对降水的研究^[9,15],然而降水是很难用降尺度方法准确预测的,因为降水不仅受大尺度气候的控制,而且还受当地地形和小尺度天气过程的控制。在选择预报变量的时候还需要考虑人们关注的气候变量的时间尺度,时间尺度的确定对于预报资料和变量的选择非常重要,在以往的研究中多为日和月的尺度。

第二步,筛选大尺度气候预报因子。如通过美国国家环境预报中心(the National Centre for Environmental Prediction, NCEP)或欧洲中尺度气候预测中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)再分析资料,选择最佳的大尺度气候预报因子以及用于预报的大尺度气候预报因子的区域。预报因子的选择很大程度上决定了预报未来区域气候情景的特征,因此预报因子的选择是应用统计降尺度法过程中一个非常重要的环节。大气环流对地面气候要素有重要的影响,常常成为预报因子的首选。预报因子的选择一般要求选择的预报因子要与所预报的预报量有较强的相关性,且能够被 AOGCM 较准确地模拟,多个被确定的因子间应该是弱相关或无关的,以避免它们之间互作效应的产生,最后,要求所选择预报因子能够代表大尺度气候的重要的物理过程和大尺度气候变率。

第三步就是选择最适合该区域气候变量的统计降尺度模式。选择不同的统计降尺度法所得的预报结果是很不一样的,许多文献对不同的统计降尺度法进行了比较^[9,16-17]。所有这些研究认为:不同的统计降尺度模式各有其优缺点。在实际应用时,要选择适合当地条件的最佳模型,从而可以较为准确预测未来气候情景。

统计关系建立以后,还需要用独立的观测资料对该统计降尺度模式进行可靠性检验。常用的方法有 2 种:一种是把整个观测序列分为两段,前一段观测序列用于建立统计关系,后一段用来做检验,这种方法适合于观测资料记录较长的区域;还有一种常用的检验方法就是交叉检验,这种方法的优点就是能充分利用所有的观测数据。

最后一步就是把建立好的统计关系应用于 GCMs 输出,从而生成区域未来气候变化情景。最终目的就是生成的未来气候情景进行诊断分析和影响研究,为决策者政策的制定和远景规划提供参考。

2 统计降尺度在预测区域气候变化中的应用

统计降尺度法研究中的常用方法较多,主要包括 3 种:回归法;天气分型技术和天气发生器。回归法是以统计学为基础、以数学函数模型的形式进行统计降尺度研究的方法。此种方法包括线性和非线性转换函数法等两种类型,其中以大尺度气候场和地面气候变量场之间的多元线性回归方程为基础的统计方法被广泛地应用。天气分型技术是一种将海平面气压、位势高度场、气流指数、风向、风速、云量等气象因子进行加权分类的方法。常见的应用方法主要有 Lamb Weather Type、PCA、平均权重串组法、PCA-平均权重串组相结合的方法、人工神经网络分类法和模糊规则为基础的分类方法等^[18-19]。在国内,范丽军等对这 3 种方法的原理进行了开创性的研究^[7]。范丽军^[8]利用共同经验正交函数(EOF)分解和逐步线性回归相结合的统计降尺度方法对我国华北地区未来 80a 的 1 月和 7 月平均气温进行了集合预估,发现将来呈现增温趋势,同时还探索性地提高了统计降尺度方法的模拟性能。该结果为我国制定该地区相应的应对措施和开展相关研究提供了科学

依据。

在统计降尺度中使用天气分型技术时,一般需要经过分型、计算和生成未来区域气候模拟值等 3 个基本步骤^[7]。分型就是根据已有的大尺度大气环流和区域气候变量的观测资料对与区域气候变量相关的大气环流进行分型。在分型的基础上,然后计算各环流型平均值、发生的频率和方差分布以及在各天气型发生情况下区域气候量平均值、发生的频率和方差分布。最后才能生成未来区域气候模拟值。根据之前两步的操作,再把未来环流型的相对频率加权到区域气候状态中,生成最终的未来区域气候模拟值^[7, 18-19]。

天气发生器作为一系列的统计模型,它们构建于气候要素随机过程之上。通过拟合气候要素的观测值,得到统计模型的拟合参数,然后利用统计模型生成气候要素的时间序列,最后得出未来区域气候的模拟情况。采用这种方法进行气候模拟具有多种优点,可以任意调整气候变率,生成任意长度的时间序列^[7, 18-19]。另外在 1995 年和 1999 年,Zorita 等把相似方法引入用于降尺度技术^[20-21],开展了卓有成效的研究。他比较了相似法与典型相关分析 CCA,环流分型法和人工神经网络法,结果发现在很多方面相似法优于其它方法,尽管相似法看似简单^[20-21]。

目前有一种多元回归和天气发生器相耦合的降尺度方法,即 SDSM (the Statistical Down Scaling Model)^[22-24]。相比较其他统计方法,SDSM 模拟效果好而且简单易行^[22-24]。它是一个基于 Windows 界面,研究区域和当地气候变化影响的决策支持工具,侧重解决大尺度气候信息和小尺度水文响应的空间尺度不匹配问题。SDSM 模型在区域尺度未来气候预测、预报方面具有多种重要功能。该方法在西方国家得到普遍推广,在我国 SDSM 的应用还刚刚起步。迄今为止,SDSM 降尺度方法在气象、水文及环境评价等诸多领域得到广泛,研究区涵盖加拿大、美国、欧洲和东南亚等国家和地区。使用 SDSM 方法进行数值模拟主要通过质量控制、转换函数、变量选择、率定模式和天气发生器 5 个步骤进行^[22-24]。在大尺度上对实地观测资料数据建立线形回归函数(方程),将这种函数进行检测后,在数据和方程应用到随机发生器中,可以生成多种预测数据。这些数据经过软件分析,即可产生未来气候情景^[22-24]。

自统计降尺度方法开创以来,国内外对该方法开展了广泛的实践应用研究。Sailor 等^[25]用多元线性回归方法模拟了美国站点的气温,取得了可信的精度。James^[26]将主分量分析(PCA)和多元线性回归相结合方法,将主分量分析与逐步线性回归进行了有成效的融合,模拟了欧洲的月平均气温和降水,对预测欧洲未来气候变化具有较强的实践意义^[27]。在统计降尺度方法的研究中还常用一种非线性方法就是人工神经网络法(ANN),Mpelasoka 等^[28]成功地用 ANN 模拟了新西兰的月平均气温和降水。在国内,统计降尺度方法也有一些应用,如利用 SDSM 模型,黄俊雄等^[29]用于对太湖流域气候变化的应用,褚健婷等^[30]对海河气候的预测以及 SDSM 模型的适用性分析,赵传燕等^[31]对西北地区未来气候变化预估,赵芳芳等^[32]对于黄河源区气温变化情景的统计降尺度分析。这些探索对于丰富和完善统计降尺度方法和模型奠定了案例基础。

3 降尺度与生态预报

包括统计降尺度在内的诸多降尺度方法历经数十年的发展,针对区域未来气候变化模拟的应用研究已经较为成熟,并在世界范围内发展迅速。大气科学本身作为一门预测性极强的科学,以厄尔尼诺现象周期预报为代表,对人类的生产生活产生了深远的影响。全球正在发生剧烈的变化,而这些变化越来越让人类难以防范,措手不及^[33-34]。1981 年一份报告指出斑马纹贻贝(*Dreissena polymorpha*)将会在 Laurentian Great Lakes 呈现泛滥生长,政府部门没有意识到这种危险,5a 后这种生物迅速蔓延扩展到整个湖区和密西西比河,大部分的湖区和河流被污染。每年因治理这种污染花费高达 2000 万至 1 亿美元^[12]。生态环境作为人类和地球上所有生物共同生存的家园,在自然和强烈的人为作用下,同时也发生讶异的变化。问题在于生态系统的运行充满了不确定性,外来干扰和系统内部活动的不断进行使得系统总是处在不停的变化当中,而且这些变化的状态也是难以控制和预测的。与生态系统发展显著相关的气候的异常变化也使得生态系统变得那么难以捉摸^[35-36]。

降尺度的发展为生态变化趋势的准确预报提供极为有利的支持。事实上,在过去的 10a 内,已经有较多

的学者在努力地探索适合预报生态现象的技术方法,他们主要针对生物入侵^[37]、农业生态安全^[38]、森林碳汇^[39]、生物多样性变化^[40]、生态承载力^[41]等的预测研究。科学家们通过模型模拟、推演等算法研究,并取得较好成果。然而,这些传统的算法并未得到广泛的应用,主要原因是方法单一、数据量大,精确性较差。

如果把降尺度方法加以修正是否可能在生态预报中进行应用?综合生态学中人与自然耦合理论,我们设计了该方法在生态预报中的应用流程图。如图1所示,在确定预报量和区域后,考虑到生态过程和结果受社会和自然因素的双重影响,预报因子的确定比起气候预测则更为复杂,因此,变量因子收集的全面性、正确性和重要性无疑会影响到预报结果的准确性。下一步,需要耦合预报变量历史的数据资料,总结其发展趋势的规律性,并不得不考虑到变量间的相互作用,预报因子与变量间的统计函数关系更为复杂,这也成为生态预报步骤的最为复杂和关键的部分。经过结果输出,检测和函数校正,准确的预报结果将会对社会和自然的和谐发展起到积极地促进作用。目前已经有较为成熟的方法对于气候变化的预测,两者不仅相互交叉,而且共同点颇多。有学者曾经利用降尺度描述生物群系界线问题^[34],但关于降尺度在生态预报中的作用还有待深入研究。

4 统计降尺度应用展望

全球变化研究已取得重要的阶段性进展,世界主要国家在新的科技战略布局中也都重视全球变化领域的研究,全球变化研究方兴未艾,呈现出明显的发展特点和趋势^[42]。全球气候变化及其不利影响是人类共同关心的问题,气候变化对中国自然生态系统和经济社会发展带来了现实的威胁,主要体现在农牧业、林业、自然生态系统、水资源等领域以及沿海和生态脆弱地区,适应气候变化已成为中国的迫切任务^[43]。在全球变化的背景下,研究全球变暖下区域降水变化的趋势,有助于人类掌握区域降水响应全球升温的规律,进一步,实施在生产和生活方面的规划,从而提高人类对全球升温的适应能力,实现社会、经济 and 环境的可持续、协调发展。在预测小尺度气候变化中,统计降尺度方法的引入无疑会对科学家和决策者对于未来区域气候变化研究和生产制度的制定提供帮助。

目前对于连续预测应该减小短期预测和长期气候预估之间的区别,实现不同时间尺度上气候事件的无缝隙预测。短期气候和天气会对长期气候行为有重要的影响;较长时间尺度气候变化的区域影响主要会通过较小尺度特征的变化(包括一些极端事件)来反映。统计降尺度方法的在区域气候预测中的应用在世界范围内

得到广泛的认可,然而这种方法在实际操作和应用中必须注意以下问题:

Khan 等^[9]对3种统计降尺度方法(SDSM; ANN(Coulibaly 等^[44]); LARA-WG(Semenov 等^[45]))对同一地区的日降水、最高、最低气温进行模拟,得到的模拟值与观测值的相似度为:LARA-WG>SDSM>ANN,尤其ANN的差异较为明显。另外,对于湿度模拟,WG和SDSM较为接近,但ANN不够准确。Gachon 等^[46]用回归方法对加拿大北部气温模拟,结果显示气温被低估。可以看到尽管统计降尺度方法有诸多优点,但在实际应用中模型的不同,结果有较大区别。对于具体地区,由于地形等客观原因,各种方法对于同一地区的预测结果不尽一致。由于在进行模拟之前要选择预报因子,预报因子选择的结果对于预测结果也影响很大。Anandhi

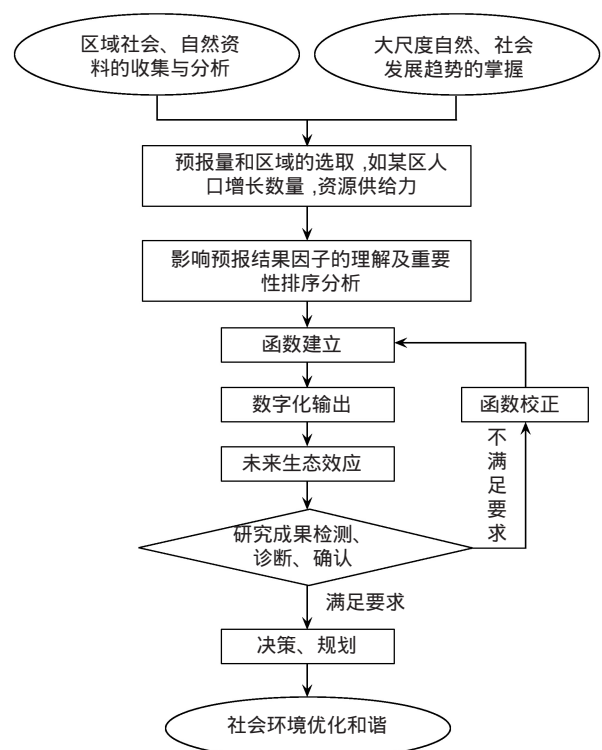


图1 应用降尺度法进行生态预报一般流程图

Fig. 1 Ecological forecasts generation process of downscaling methods

等^[14]对印度 Malaprabha 河流域气候研究,发现 925mb 的温度模拟最好,其他因子则较为模糊。在选择不同预报因子,应用不同模型前应当加强检测这一步,选择最适合的方法才是最为妥当的。对于各种模型(方法),有必要对其适用条件做准确界定。

IPCC^[47]第四次评估报告指出:所有大陆和大部分海洋的观测证据表明,许多自然系统正在受到区域气候变化的影响,特别是温度升高的影响。世界气象组织(WMO)收集的数据显示^[48]:1998—2007 年是有气象记录以来最热的 10a,全球变暖导致世界各地极端天气和气候事件频繁发生。统计降尺度法对于一般发展较为稳定的气候因子(如平均温度)有较准确的模拟,但对于极端天气的预报(如暴雨、冰雹等)则较差,报道也相对少^[32,49-50]。气象灾害往往造成巨大的损失和伤亡,因此,有必要加大有关预报工作的研究力度。

在降尺度模拟时,季节因素对于结果也具有明显影响,先前很多报道对区域的气候季节选择单一^[51],Vidal 等^[10]对英国气候模拟时发现,冬、春季的结果接近,其他两个季节有明显差异。Wetterhall 等^[52]用四种统计降尺度方法(SDSM; TWS; MOFRBC; PCA)对瑞典中部不同季节气候进行适用性分析,发现 SDSM 和 TWS 方法对春季模拟较好,MOFRBC 则对冬季较适合。这充分说明了季节对于模型的选择性。

降尺度方法作为模拟区域范围气候有效的方法,在世界范围内应用已经相当广泛,尤其统计降尺度技术仅仅 10a 的时间就已发展成为气候学研究中一个相当完善的领域,然而它仍有许多方面需要进一步研究和完善^[7,53]。Khan 等^[9,54]和 Prudhomme 等^[53]比较了几种统计降尺度方法对于温度、日降水量等气候状况区域的模拟结果不确定性,结果显示几种模型都或多或少存在明显的缺陷。在应用的同时应当投入更多精力在它的技术层面研究,在国际上较多如 Fowler 等^[19]的最新总结,国内报道则较少^[7]。

统计降尺度法和动力降尺度法各有自己的优缺点,由于统计与动力相结合的降尺度方法兼顾统计和动力两种降尺度方法的优点,因此必将成为统计降尺度技术的重要发展方向^[7]。

除了最基本的气候变量外,还有一些地面气候变量也被统计降尺度法成功地模拟。这些变量包括云盖,太阳辐射、风场、湿度、海平面、气压、蒸发等。可以预见的到,包括统计降尺度法在内降尺度法在气象、生态环境、农业等领域应用的发展前景是广阔的。

5 结论

全球变化下区域气候的预估对于人类合理规划生产与生活、以及高效管理生态系统极端重要。由于影响气候的因素众多,对未来区域气候情景的集成评估难度较大。统计降尺度技术的发展对于区域气候预报提供了建设性策略。统计降尺度技术包含多种工具和方法,不同方法预估步骤不是固定的,但思路总是相通的。首先必须对系统核心问题、关键不确定性进行确定,然后再对驱动因子进行分析,构建出来的情景需要测试和检验,最后的落脚点都是提供决策指导。由于应用者的具体目的不同,研究对象的特征、复杂程度不同,所以其程序就不是一成不变的。因此,应用者在实际操作中切勿生搬硬套。大气科学发展历史悠久,这门科学由以往大气现象的描述发展到现代经典的预测科学,已经为人类认识自然规律、防灾减灾做出巨大贡献。当前,生态学的发展与气候变化日益紧密,生态预报越来越具有重要的理论意义和实践价值。在未来百年中,生态预报作为应用生态学的新的研究领域,将会对未来生态学的发展带来曙光。当前,降尺度技术在生态预报和气候情景预报中不断发展,需要不断地开展案例研究,丰富和发展模型。

References:

- [1] Hao Z C, Wang J H, Li L, Wang Z H, Wang L. Impact of climate change on runoff in source region of Yellow River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(1): 1-7.
- [2] Cubasch U, Waszkewitz J, Storch H, Zorita E. Estimates of climate changes in southern Europe using different downscaling techniques. *Climate Research*, 1996, 7: 129-149.
- [3] Boville B A. Sensitivity of simulated climate to model resolution. *Journal of Climate*, 1991, 4: 469-485.
- [4] Xu C Y. From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 1999, 23(2): 229-249.
- [5] Fowler H J, Wilby R L. Beyond the downscaling comparison study. *International Journal of Climatology*, 2007, 27(2): 1543-1545.

- [6] Frey-Buness F, Heimann D, Sausen R. A statistical-dynamical downscaling procedure for global climate simulations. *Theoretical & Applied Climatology*, 1995, 50(3/4): 117-131.
- [7] Fan L J, Fu C B, Chen D L. Review on creating future climate change scenarios by statistical downscaling techniques. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 320-329.
- [8] Fan L J, Fu C B, Chen D L. Estimation of local temperature change scenarios in north China using statistical downscaling method. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2007, 31(5): 887-897.
- [9] Khan S M, Coulibaly P, Dibike Y. Uncertainty analysis of statistical down scaling methods using Canadian global climate model predictors. *Hydrological Process*, 2006, 20(14): 3085-3104.
- [10] Vidal J P, Wade S. A framework for developing high-resolution multi-model climate projections: 21st century scenarios for the UK. *International Journal of Climatology*, 2008, 28(7): 843-858.
- [11] Stenseth N C, Mysterud A, Ottersen G, Hurrell J W, Chan K S, Lima M. Ecological effects of climate fluctuations. *Science*, 2002, 297(5585): 1292-1296.
- [12] Clark J S, Carpenter S R, Barber M, Collins S, Dobson A, Foley J A, Lodge DM, Pascual M, Pielke R J, Pizer W, Pringle C, Reid W V, Rose K A, Sala O, Schlesinger W H, Wall D H, Wear D. Ecological forecasts: an emerging imperative. *Science*, 2001, 293: 657-660.
- [13] Mearns L O, Bogardi I, Giorgi F, Matyasovszky I, Palecki M. Comparison of climate change scenarios generated from regional climate model experiments and statistical downscaling. *Journal Geophysics Research*, 1999, 104 (D6): 6603-6621.
- [14] Anandhi A, Srinivas V V, Kumar N D, Nanjundiah R S. Role of predictors in downscaling surface temperature to river basin in India for IPCC SRES scenarios using support vector machine. *International Journal of Climatology*, 2009, 29(4): 583-603.
- [15] Liu J F, Li S J, Ding Y G. Forecasting of water level of Qinghai lake based on statistics downscaling from climatic model. *Advances in Water Science*, 2008, 19(2): 184-191.
- [16] Salathé E P. Comparison of various precipitation downscaling methods for the simulation of streamflow in a rainshadow river basin. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(8): 887-901.
- [17] Timbal B, Fernandez E, Li Z. Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(3): 341-358.
- [18] Ghosh S, Mujumdar P P. Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow using relevance vector machine. *Advances in Water Resources*, 2008, 31(1): 132-146.
- [19] Fowler H J, Blenkinsop S, Tebaldi C. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology*, 2007, 27(12): 1547-1578.
- [20] Zorita E, Hughes J P, Lettemaier D P, Hans V S. Stochastic characterization of regional circulation patterns for climate model diagnosis and estimation of local precipitation. *Journal of Climate*, 1995, 8: 1023-1042.
- [21] Zorita E, Hans V S. The analog method as a simple statistical downscaling technique; comparison with more complicated methods. *Journal of Climate*, 1999, 12(2): 2474-2489.
- [22] Wilby R L, Hay L E, Leavesley G H. A comparison of downscaled and raw GCM output; implications for climate change scenarios in the San Juan River basin, Colorado. *Journal of Hydrology*, 1999, 225(1/2): 67-91.
- [23] Wilby R L, Dawson C W, Barrow E M. SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 2002, 17: 147-159.
- [24] Wilby R L, Tomlinson O J, Dawson C W. Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling. *Climate Research*, 2003, 23(3): 183-194.
- [25] Sailor D J, Li X. A semiempirical downscaling approach for predicting regional temperature impacts associated with climatic change. *Journal of Climate*, 1999, 12(1): 103-114.
- [26] James M. Prediction of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(5): 489-501.
- [27] James M. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *Journal of Climate*, 1999, 12: 2256-2284.
- [28] Mpelasoka F S, Mullan A B, Heerdegen R G. New Zealand climate change information derived by multi-variate statistical and artificial neural networks approaches. *International Journal of Climatology*, 2001, 21(11): 1415-1433.
- [29] Huang J X, Xu Z X, Liu Z F, Zhao F F. Analysis of future climate change in the Taihu Basin using statistical downscaling. *Resource Science*, 2008, 30(12): 1811-1817.
- [30] Chu J T, Xia J, Xu C Y. Suitability analysis of SDSM model in the Haihe River Basin. *Resource Science*, 2008, 30(12): 1825-1832.
- [31] Zhao C Y, Nan Z R, Cheng G D, Zou S B, Zhang Y Z. Prediction of the trend of the future climate change in northwestern China by statistical downscaling. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2008, 44(5): 12-18.
- [32] Zhao F F, Xu Z X. Statistical downscaling of future temperature change in source of the Yellow river basin. *Plateau Meteorology*, 2008, 27(1): 153-161.
- [33] Carpenter S R, Bennett E M, Peterson G D. Scenarios for ecosystem services: an overview. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 29-29.
- [34] Root T L, Schneider S H. Ecology and Climate: Research Strategies and Implications. *Science*, 1995, 269(5222): 334-341.

- [35] Melbourne B A, Hastings A. Highly variable spread rates in replicated biological invasions; fundamental limits to predictability. *Science*, 2009, 325(5947): 1536-1539.
- [36] Brown K A, Spector S, Wu W. Multi-scale analysis of species introductions; combining landscape and demographic models to improve management decisions about non-native species. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(6): 1639-1648.
- [37] Herborg L M, O'Hara P, Theriault T W. Forecasting the potential distribution of the invasive tunicate *Didemnum vexillum*. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 46(1): 64-72.
- [38] Chee Y E, Wintle B A. Linking modeling, monitoring and management; an integrated approach to controlling overabundant wildlife. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 47(6): 1169-1178.
- [39] Dean C, Roxburgh S, Mackey B G. Forecasting landscape-level carbon sequestration using gridded, spatially adjusted tree growth. *Forest Ecology and Management*, 2004, 194(1/3): 109-129.
- [40] Pereira H M, Leadley P W, Proença V, Alkemade R, Scharlemann J P W, Fernandez-Manjarrés J F, Araújo M B, Balvanera P, Biggs R, Cheung, W L, Chini L, Cooper H D, Gilman E L, Guénette S, Hurtt G C, Huntington H P, Mace G M, Oberdorff T, Revenga C, Rodrigues P, Scholes R J, Sumaila U R, Walpole Brett M. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science*, 2010, 330(6010): 1496-1501.
- [41] Fang C L, Bao C, Zang C G. Analysis on the changing condition and the evolutive scene of the ecology-production- living carrying capacity in arid area; a case study in Yuli district in the lower reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1915-1923.
- [42] Ge Q S, Wang F, Chen P Q, Tian Y Y, Cheng B B. Review on global change research. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(4): 417-427.
- [43] State Council Information Office of the People's Republic of China. China's policies and actions for addressing climate change. Beijing: State Council Information Office of the P R of China, 2008.
- [44] Coulibaly P, Dibike Y B. Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks. *Journal of Hydrometeorology*, 2005, 6(4): 483-496.
- [45] Semenov M A, Barrow E M. *LARS-WG*: a stochastic weather generator for use in climate impact studies, Version 3.0, User Manual. Harpenden: Rothamsted Research, 2002.
- [46] Gachon P, Dibike Y. Temperature change signals in northern Canada: convergence of statistical downscaling results using two driving GCMs. *International Journal of Climatology*, 2007, 27(12): 1623-1641.
- [47] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis*. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [48] WMO. WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2007. Geneva: WMO, 2007.
- [49] Fowler H J, Ekström M, Kilsby C G, Jones P D. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 1. Assessment of control climate. *Journal of Hydrology*, 2005, 300(1/4): 212-233.
- [50] Frei C, Schöll R, Fukutome S, Schmidli J, Vidale P L. Future change of precipitation extremes in Europe: an intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2006, 111(D06105): 1-22.
- [51] Obled C, Bontron G, Garçon R. Quantitative precipitation forecasts: a statistical adaptation of model outputs through an analogues sorting approach. *Atmospheric Research*, 2002, 63(3/4): 303-324.
- [52] Wetterhall F, Halldin S, Xu C Y. Seasonality properties of four statistical-downscaling methods in central Sweden. *Theoretical & Applied Climatology*, 2007, 87(1/4): 123-137.
- [53] Prudhomme C, Davies H. Assessing uncertainties in climate change impact analyses on the river flow regimes in the UK. Part 1: baseline climate. *Climatic Change*, 2009, 93(1/2): 177-195.
- [54] Khan M S, Coulibaly P, Dibike Y. Uncertainty analysis of statistical down scaling methods. *Journal of Hydrology*, 2006, 319(1/4): 357-382.

参考文献:

- [1] 郝振纯, 王加虎, 李丽, 王振华, 王玲. 气候变化对黄河源区水资源的影响. *冰川冻土*, 2006, 28(1): 1-7.
- [7] 范丽军, 符淙斌, 陈德亮. 统计降尺度法对未来区域气候变化情景预估的研究进展. *地球科学进展*, 2005, 20(3): 320-326.
- [8] 范丽军, 符淙斌, 陈德亮. 统计降尺度法对华北地区未来区域气温变化情景的预估. *大气科学*, 2007, 31(5): 887-897.
- [29] 黄俊雄, 徐宗学, 刘兆飞, 赵芳芳. 统计降尺度法分析太湖流域未来气候变化情景. *资源科学*, 2008, 30(12): 1811-1817.
- [30] 褚健婷, 夏军, 许崇育. SDSM 模型在海河流域统计降尺度研究中的适用性分析. *资源科学*, 2008, 30(12): 1825-1832.
- [31] 赵传燕, 南忠仁, 程国栋, 邹松兵, 张永忠. 统计降尺度对西北地区未来气候变化预估. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(5): 12-18.
- [32] 赵芳芳, 徐宗学. 黄河源区未来地面气温变化的统计降尺度分析. *高原气象*, 2008, 27(1): 153-161.
- [41] 方创琳, 鲍超, 张传国. 干旱地区生态-生产-生活承载力变化情势与演变情景分析. *生态学报*, 2003, 23(9): 1915-1923.
- [42] 葛全胜, 王芳, 陈泮勤, 田砚宇, 程邦波. 全球变化研究进展和趋势. *地球科学进展*, 2007, 22(4): 417-427.
- [43] 中华人民共和国国务院办公厅. 中国应对气候变化的政策与行动. 北京: 中华人民共和国国务院办公厅, 2008.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanyang, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

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

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 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