

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

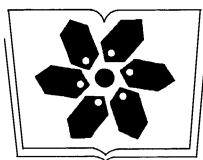
Acta Ecologica Sinica



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

全球变化下植物物候研究的关键问题

莫 非¹, 赵 鸿^{1,2}, 王建永¹, 强生才^{1,3}, 周 宏^{1,3}, 王绍明⁴, 熊友才^{1,4,*}

(1. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃兰州 730020; 3. 甘肃农业大学工学院, 甘肃兰州 730070, 4. 石河子大学生命科学学院, 新疆石河子 832003)

摘要:总结了全球变化下植物物候研究的主要进展, 针对该领域国内外的几个热点问题进行了讨论。植物物候研究的重心从以前的野外观测和初步统计分析逐步过渡到以揭示物候周期的调控机制和环境效应为主, 研究手段从植物物候对环境变化做出反应的表象描述转移到多尺度、多要素耦合关系的综合分析。随着学科交叉研究的不断深入, 植物物候研究从植物个体及居群适应性研究转向植物物候变化对生态系统、气候演变、农业生产乃至人类健康等方面影响的系统评估。并且在该转变过程中出现了几个关键性问题, 如不同温度带大气温度与光周期对植物物候期贡献力问题、植物物候变化对气候变暖的非线性响应特征、群落水平上植物物候研究的复杂性、以及农业生态系统中作物物候研究的重要性等。对我国植物物候研究现状和管理体系中亟待解决的问题提出了建议。

关键词:全球变化; 植物物候; 关键问题; 综述

The key issues on plant phenology under global change

MO Fei¹, ZHAO Hong^{1,2}, WANG Jianyong¹, QIANG Shengcai^{1,3}, ZHOU Hong^{1,3}, WANG Shaoming⁴, XIONG Youcai^{1,4,*}

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

2 Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid climate Change and disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China

3 School of Engineering Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

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

Abstract: Plant phenology is an indicator of climate change. Both global warming and extreme climate lead to a critical change in plant phenological characteristics. It is of great importance to elucidate the evolution and mechanism of plant phenology in response to climate change. Natural plant phenological system contains the most direct and effective eco-physiological evidences as a product of global environmental change, which acts as an important complement to instrumental records. Plant phenological performance is extensively considered as a series of life history strategies for plants in a changing environment, which is in general closely related to reproduction of plant population and maintenance of biological diversity. It is highly sensitive to climate change and displays fine adaptability to the change as well. The combination of current phenological database with historical phenological records provides a facility to reveal the coupling relationship between climate change and plant phenological cycle. Previous studies showed that long-term located observation and relevant integrated analysis on plant phenological performance would help reveal the ecological adaptive characteristics of plant phenology, and assess the positive and negative feedbacks between plant phenology and climate change. With the rise of global change ecology in recent years, great efforts have been made on quantitatively assessing material production and carbon cycle in ecosystem in field of plant phenology, particularly underlying that interaction between plant phenological

基金项目:国家公益性行业(气象)科研专项子课题(GYHY200806021-06, GYHY201106029); 国家自然科学基金项目(31070372, 30970447); 国家重点基础研究发展计划资助项目(973 项目)(2009CB825101); 兰州大学人才引进专项(582449)

收稿日期:2010-10-29; **修订日期:**2011-02-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiongye@lzu.edu.cn

cycle and carbon cycle in ecosystem has become a hot issue. This paper summarizes major progresses in plant phenology under global change and proposes a few domestic and international hot issues in this field. The research interest of plant phenology has gradually shifted the focus from previous field observations and preliminary statistical analysis to current environmental outcome assessment and regulatory mechanism investigation of phenological cycle. The methodology of plant phenology has been upgraded from the superficial description on the response of plant phenological cycle to climate change to the coupling exploration on plant phenology at the multi-scale and multi-element scales. With the development of interdisciplinary research, plant phenology has been extended to a systematic evaluation on the impacts of phenological changes on ecosystems, climatic change, agricultural production and even human health. With these transitions, a few key issues has been raised accordingly, such as the differentiate contribution of atmospheric temperature and photoperiod to plant phenological cycle in different temperature belts, the nonlinear characteristics of the change in plant phenology versus climate change, the complexity of plant phenology at the community level, as well as the importance of crop phenology in agricultural ecosystems. It can be argued that the initiative of plant phenology would play a critical role in practical fields such as agricultural production, human health and landscape design, but also significantly boosts the progress in interdisciplinary research involved in ecology, climatology and geography. Finally, a few recommendations are proposed in terms to the construction of phenological observation network, the exploitation and application of new technologies and the integration of relevant research programs.

Key Words: global change; plant phenology; key issues; overview

植物物候是植物应对环境变化时表现出的一系列生活史对策,植物物候关系到植物体本身的生存繁衍和群落生物多样性的维持。在植物长期的进化过程中,植物物候与气候变化之间形成了稳定的耦合关系。土壤-植被-大气系统中水热碳的交换、植被生产力、物种适合度也维持在一个稳定的动态变化之中。然而,在近几十年来随着对全球变化研究的不断地深入和细化,以及对植物物候与气候变化之间的互作关系更多的关注,大量植被的精确物候变化特征已被研究者们监测并得以描述。以地面观测为主的植物个体水平^[1]、卫星遥感技术支持下的植物群落^[2]和生态系统尺度^[3]、以气候变暖为背景的实验水平^[4]以及进行未来预测为目的的物候模型层面^[5]均被证明了在近几十年里植物的春季和秋季物候各自发生了变化。作为反应植被物候变化指标之一的大气二氧化碳浓度同样产生了变化^[6]。以上不同尺度的研究方法将为人们更好地去认识和理解全球变化与植物物候的相互关系提供了可能。未来的研究将会跨越多个尺度来整合植物物候与气候变化的信息来量化植物物候变化对气温、土壤湿度、生态系统物能流动、大气成分与动力的效应。

在植物物候与气候变化相互作用的大量研究中,尽管有一个普遍认同的观点:在许多植物居群中,气候变暖已经提前了他们生物学春季,并延迟了生物学冬季时间的到来^[2,7-8]。然而,由于自然植被与气候因子作用关系的复杂性,以及植物个体对气候因素效应的不同形态学机理^[9],再加上区域气候的不稳定性,使得在植物物候与气候变暖相互作用的研究中仍然产生了许多不统一的结论:在北半球,大部分植物的生活史周期延长,而在南半球的一些物种则缩短^[10];温度作为气候变暖的重要指标,很多研究者认为温度与植物物候变化最具相关性^[11],具体表现在温度升高对植物秋季休眠具有延缓效应,而对于春季休眠解除具有促进作用,总体上表现为升温能够延长植物生活史周期^[12]。但有一些植物,温度仅起到对植物一些可见的物候相,如叶着色等进行调节和诱导作用^[9];另外,因温度和光周期在植物体生长发育过程中扮演的重要角色,就两者通过各自的生理生化过程对植物物候究竟产生怎样的形态学效应、两者谁对植物的休眠和休眠打破更具贡献、在春季物候期的提前上谁更具影响力、用哪个作为未来气候变暖对植物物候效应的指标等问题在植物物候的研究领域同样产生了争论。

鉴于全球变化背景下大气-植被-土壤系统中与植物物候变化相耦合因子的多样性和关系的复杂性,以及植物物候研究过程中产生的诸多争论性问题,本文就全球变化下植物物候研究进展进行综述的基础上,对植

物候研究中的几个关键问题展开了评述,旨在为将来植物物候的研究提供一些有用的参考。另外,我国物候学研究起步晚、人力物力投入不足等不利因素,导致目前该方面的研究与国际水平在研究方法、手段等许多方面仍然存在着一定的差距。因此,本文也提出了一些我国植物物候研究中亟待解决的问题。

1 全球变化下植物物候研究进展及趋势

IPCC 第 4 次评估报告指出:近 100a(1906—2005 年)全球变暖的线性趋势为 0.74°C ($0.56\text{—}0.92^{\circ}\text{C}$),北半球高纬度地区温度升幅较大。同时,北半球植物生育期的跨度增加,总体表现在生育期较早出现且较晚结束^[7]。从 ISB (International Society of Biometeorology) 主办的第十七、十八届国际生物气象学大会中可以看到,物候学、气候变化、极端气候的研究已成为当前国际生物气象学研究的热点问题。自本世纪以来,大量的技术已在不同尺度上纷纷用于植物物候的观测,并已取得了较大的进展。

1.1 个体水平上的植物物候观测网建立

植物物候观测网主要是通过大量的职业人员和志愿者在各个观测站来记录植物物候时间。目前,世界范围内对植物物候记录最为完整的属欧洲物候观测网(The European Phenology Network, EPN),另外在其他国家也相应地建立了物候观测网,如意大利 AIA 物候工作组(AIA Phenology working team, Italy)、(International Phenological Gardens)、德国观测网(Naturdetektive, German)、美国 Sevilleta LTER 物候数据(Sevilleta LTER Data, Phenology, USA)、中国物候观测网(Chinese Phenology Network)等,这些长期的物候记录,可用于在较大时间跨度内对植物物候与气候变化互作过程进行分析。Schwartz 发现在过去 30 a 美国丁香展叶平均提前了 5.4d^[13]。Matsumoto 观察到在过去 40a 中日本银杏树的发芽物候提前了 4d,落叶时间推迟了 8d^[14]。这些春季物候的提前和秋季物候的延迟将在很大程度上延长植物的生长季。

1.2 群落与生态系统水平上的卫星遥感监测

遥感技术已经在大尺度上为认识植物物候时空动态变化发挥了重要的作用。尽管卫星图像不能识别较具体的物候相,像开花、结实等,但是遥感影像能够很好地描述整个生态系统的物候变化,以及对植物物候生长季和结束日期进行监测。互联网免费的 NOAA/AVHRR、MODIS 等卫星影像数据为遥感监测全球植被绿波、褐波的推移及季相变化提供了条件^[15]。标准化差异植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)可用于植物季节相变化、植物发育期监测^[16]。法国的 SPOT 植被数据、美国的地球资源卫星(Landsat) TM 数据等也可用于植物物候的研究。尽管目前最常用的卫星遥感数据主要为 NOAA/AVHRR 和 MODIS,但从长远来看,因高光谱遥感数据具有的超多波段、超高光谱分辨率等特点将成为植物物候研究的发展趋势。

1.3 预测水平上的物候模型建立

自本世纪以来,对植物物候预测模型的建立已变成几个基础和应用科学领域的主要任务。植物物候的精确模拟,可以帮助我们更好地认识未来种群动态、气候变化规律、生态系统生产力,并指导农业生产。理论模型、统计模型、基于流程化模型 3 种类型的物候模型已用于对重要物候出现时间的预测^[17]。理论模型主要是基于最优资源利用下叶片生长的投入收益权衡,该模型的建立能够更好地理解木本植物叶片生命周期策略的进化。统计模型是利用多种数学线性方程把实地物候观测与气候因子联系起来进行预测物候变化^[18]。基于流程化模型主要是描述已知或假设的生物过程与环境因子驱动过程的因果关系^[19]。最近,基于流程化模型和统计模型利用历史物候时序(从 1370 年至今的葡萄成熟时间序列)来再现了过去气候变化状况^[20]。

1.4 城市化过程中植物物候研究

伴随着各地城市化进度的提速,土地利用的大幅度增加势必会在城市范围内减小植被覆盖量,城市化所带来的高度密集的建筑群、拥挤的交通、密封的土壤和缓慢的空气流通等一系列结果最终导致城市气候因子的变化,如城市热岛效应。城市化过程中连带的气候因子的变化使植物物候在郊区和城区间产生了差异^[21-24]。

在空间范围内,大量的大田观测和卫星遥感数据表明城市中植物的开花和展叶物候总是要比城市周边的地区早。Fitte 在研究中发现:就开花和展叶物候而言,鸟媒花和虫媒花的植物要比风媒花植物提前^[25]。在农

村到城市环境梯度下,豚草属植物逐渐表现出较快的生长、较提前的开花和较早的衰老以及较大的地上生物量^[23]。Roetzer 分析了 1941 年到 1995 年 4 种春季开花植物在欧洲 10 个观测站上表现出来的开花物候,除一个台站外,其他观测站上开花物候均表现出城市环境中的植物比周边地区提前 2—4d^[21]。

在时间水平上,Neil 利用植物标本研究了在北美菲尼克斯地区 87 种灌木植物从 1902—2006 年期间开花物候的变化:24% 的物种提前,5% 则推迟;并认为城市化进程对一些数量很少但较为固定的植物类群有着明显的影响^[26]。Luo 分析了 1962—2004 年北京市 3 种木本植物物候期与温度的变化关系:尽管物种之间存在着差异,但 3 种植物都表现出春季物候的提前和冬季物候的推迟,并且大多数物候期都与该物候期前 1 个月的温度关系紧密;从 1978 年以来城市温度的升高是导致物候变化的主要原因^[27]。与此同时,一些研究结果反而表明了城市化过程中许多植物开花物候并没有发生变化^[28]。

1.5 植物物候研究的趋势

在理论研究方面,通过对植物物候与气候变化相互作用机理的不断探究,将来的工作会更多地投入到量化植物物候变化对温度、土壤湿度、大气成分组成的影响,因为这些信息对精确预测未来植物物候及其对气候影响的变化具有十分重要的意义。在实践应用方面,对植物物候改变带给生态、环境、气候、人类健康、甚至农业生产等方面的不利影响进行准确的评估,从而指导人们合理有效地开展调整性工作,竭力把各方所受不利影响程度降到最低,这也是植物物候研究的价值所在。因此,长期而面广的植物物候地面观测、卫星遥感技术的提高、以及物候模型的完善不仅是植物物候研究的基础工作,同时又是今后植物物候研究的努力方向。

2 植物物候研究的几个关键问题

目前,伴随植物物候研究工作的不断深入,植物物候研究的重心从以前的野外观测和初步统计分析逐步过渡到揭示物候周期的调控机制和环境效应,从植物个体及居群适应性研究转向植物物候变化对生态系统、气候演变、农业生产乃至人类健康等方面影响的系统评估。研究手段从植物物候对环境变化做出反应的表象描述转移到多尺度、多要素耦合关系的研究。而认识该转变过程中出现的几个关键问题对于理解气候变暖驱动下植物物候的变化特征、机制和影响评估具有重要作用。

2.1 不同温度带光周期和气温对植物物候的贡献力问题

热带和热带外地区(温带与寒带)植物物候对气候变暖的响应机制不同。在温带和寒带地区,气温的季节性变化幅度大,并随纬度增高而冬季延长。植物如不能在低温、霜冻来临之前来完成生殖生长,那么将很难繁殖成功。而且在植物休眠期间,低温持续时间如不能达到植物所需,打破休眠的时间将会被推迟^[9]。由于光周期(昼长/夜长)受气候条件的影响较小,许多植物在长期的进化过程中形成了以光周期为信号来感应季节变化规律。因此,在温带和寒带地区,控制植物物候变化的 3 个重要因素应该是温度、低温持续和光周期。但是,如何确定三者对该地区植物物候贡献力大小关系呢?对于那些生长季开始较早的物种,冬季一旦达到对低温的需求,那么他们对温度升高的响应是非常敏感的。而对于那些生长季开始较晚的物种,则由光周期控制着他们的物候期,温度只是起到一个限制性调节的作用。这样一种机制就阻止了那些生长季开始较早或较晚的植物类群在与自身生长季气候条件不匹配的时期发芽。而且,因年际温度变化幅度大,那些由光周期决定物候期开始的类群便能通过适时的解除休眠来很好地躲避由升温带来的可能伤害^[9];在热带地区,温度和光周期全年变化幅度很小,植物对热量要求高,植物物候期的变化主要依赖温度。可见,在不同植物类群和温度带间,植物物候期变化的驱动力是不尽相同的。

2.2 植物物候对气候变暖的非线性特征

为了正确地预测植物物候对未来气候变化的响应趋势,能够准确把握植物物候与气候变化的互作过程就显得尤为重要与紧迫。大量的实验数据显示:未来全球气候的持续变暖将不断提前植物的春季物候^[29-31]。是否这种提前效应是线性的?植物自身是否会采取相应的生活史对策来延缓提前?首先,在一个植物种群,或者群落中,由于植物个体间对气候变暖存在的差异,将会改变其竞争关系、群落结构、物种的地理分布等。从长远的角度看,这样的改变很可能会中断这种线性关系,并已有研究结论证明了植物物候对气候变暖的非

线性^[32]。其次,植物应对气候变暖是一个复杂的过程,而不是某个物候相在出现时间上简单的提前或推迟。因为不同植物个体的不同物候相对气候变暖的敏感度都是各异的。并且不同植物各个物候相的出现时间和持续时长分别存在差异,因此在考虑植物物候对气候变暖的适应性时,必须认为植物各个物候相共同参与了应对气候变暖的响应。换句话说,在气候变暖的环境下,植物最终表现出来的物候期跨度的长短是由其各个物候相共同作用的结果,而不仅仅是某个物候相的单一作用。故而,某个物候相在出现时间和持续时间上的缩短将会抵消整个生育期跨度的延长^[33]。这就预示着在研究物候期长度对气候变化的响应时,必须要把物候相出现的时间与其持续时长两者分割开来,把分析单独的物候相与综合考查全生育期长度两者结合起来,这样才能从一个更全面的视角去理解物候变化的过程和结果。

由于植物物候变化的非线性特征,气候变化对植物物候期影响的预测研究不应该建立在目前的物候变化趋势之上,应该以长远的视角和分析综合的思维去预测未来植物物候可能的变化趋势。

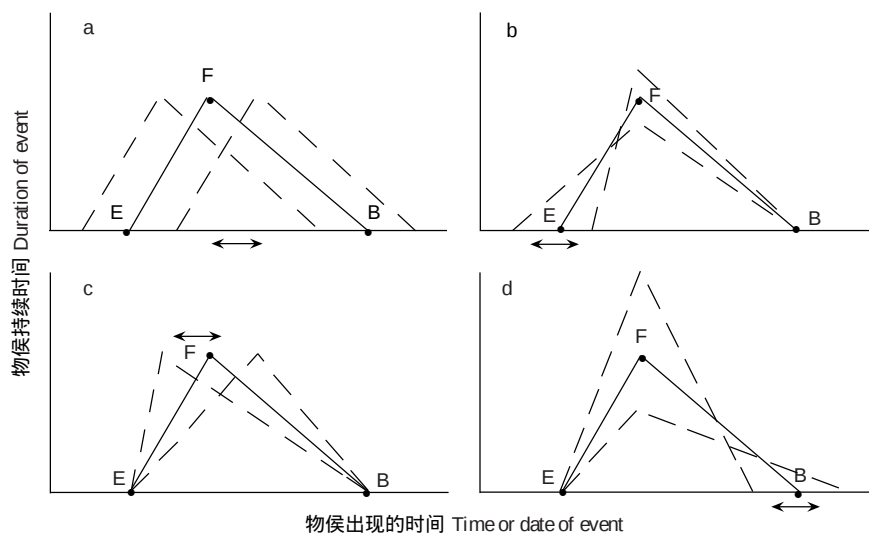


图1 物候相与全生育期长度相互变化的可能模式^[33]

Fig. 1 The likelihood model of mutual variation between phenology phases and whole growth period^[33]

a:三个物候相同时提前或推迟;b:出苗时间推迟或提前;c:花套发生时间推迟或提前;d:第1开花时间推迟或提前;

三角形区域表征了全生活史;双向箭头为物候相在出现时间上的变化;E为植物出苗时间,F为花套发生时间,B为第一开花时间;——为各个物候相的初始状态;---为受环境影响后各个物候相的改变状态;每个三角形的面积表示从萌发到第1开花期的持续时间

2.3 植物群落水平上物候变化的复杂性

在植物群落水平上,因群落内部的不同个体对温度的敏感度不同^[34],并采取各异的应对气候变暖的生活史对策,从而为群落生长季的延长增加了可能性(图2)^[8]。例如,在一些春季物候对温度敏感的植物类群会因气温变暖而推迟秋季物候的情况下,无论是群落内部其他对温度不敏感类群对气温升高保持物候期长度的恒定或小幅度的延长,群落生育期跨度将会被延长(图2d)。整体上,植物群落水平上个体和群落物候的相互变化呈复杂性。

大量的实验数据表明:气候变暖已经提前了大量植物个体的春季物候,而另有部分植物个体春季物候没有发生变化^[7]。对于秋季物候而言,不同个体表现各异。然而,大量植物个体的生长季趋于增长。为了便于理解群落水平上植物个体与群落物候变化的相互关系,以此趋势为基础做如下假设和规定:

群落生育期 从群落内部最后一个植物个体开始了物候期到其中一个个体最先完成生活史之间的时间段。

群落中植物个体类型的划分 把群落中全部植物个体按照各自对温度升高敏感度的不同将其划分为3种类型,春季物候开始最早的敏感型植物类群(S)、春季物候开始较早的中度敏感型类群(MS)、春季物候开始较晚的不敏感型类群(IS)。3种植物物候对气候变暖的变化趋势和变化量大小关系如表1,个体与群

落物候的相互变化关系如图 2。

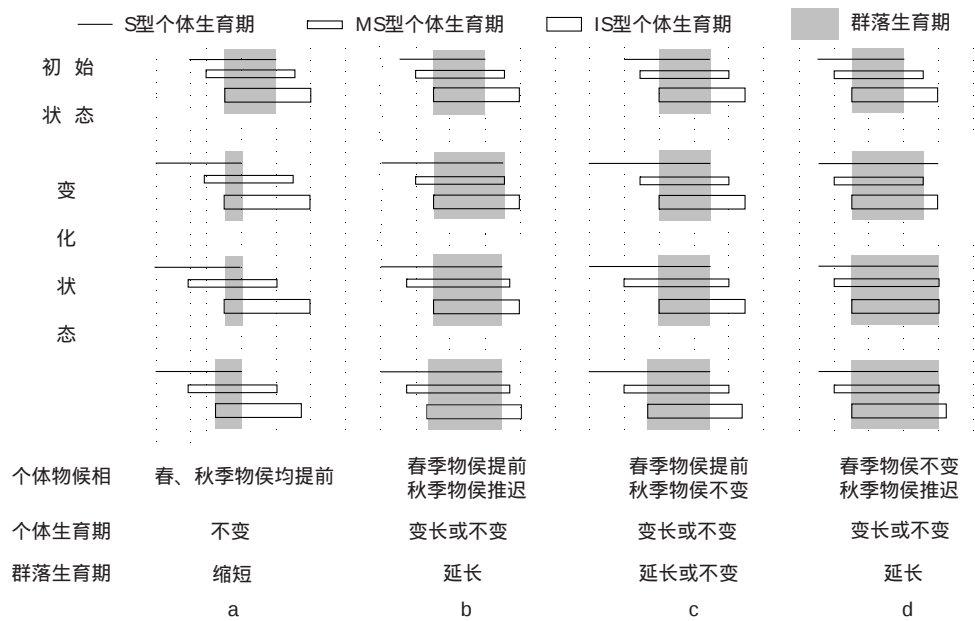


图 2 气候变暖下植物个体与群落的物候关系

Fig. 2 The phenological relationship between plant individuals and communities under climate warming

表 1 气候变暖下不同温度敏感型植物类群的物候变化

Table 1 Phenological variation of plants with different temperature sensitivity under global warming						
植物类型 Vegetation types	生育期 Growth period	春季物候 Spring phenology	秋季物候 Autumn phenology	春季物候 绝对变化量 Absolute variation of spring phenology	秋季物候的 绝对变化量 Absolute variation of autumn phenology	生育期的绝对 变化量 Absolute variation of Growth period
敏感型 Sensitive type	变长或不变	提前或不变	推迟、提前或不变	大	大	大
中度敏感 Moderate sensitive type	变长或不变	提前或不变	推迟、提前或不变	小	小	小
不敏感 Insensitive type	变长或不变	提前或不变	推迟、提前或不变	最小	最小	最小

2.4 气候变化下作物物候研究的重要性

在农业生态系统中,无论对于 1 年生(一年一熟和一年多熟)作物,还是多年生作物,最近的气候变暖、长期干旱、以及大气二氧化碳浓度的变化已经改变了许多传统农事活动和作物的物候特征,比如播期^[35]和春季物候提前^[36]。但是两种类型作物物候对气候变化存在着不同的效应机制:对于 1 年生作物,物候特征较多地由人们的农事活动(如播种、收获、灌溉、施肥等)控制,而并不完全依靠气候状况。而对于多年生作物,农事活动对其物候期的影响并没有像对 1 年生作物那么明显,相应地,它们对气候条件更具依赖性;农事活动的干预并不能说明气候变化对多年生作物物候更具影响,相反,由于人们对 1 年生作物进行频繁的育种、耕作制度的不断更新而较大程度地改变了它们的生长习性,从而使 1 年生作物物候对气候变化更加敏感。气候变化下作物春季物候的提前可归结于春季气温的升高。作物物候对升温的反应方式可能有两种:其一是形成了年际间升温的累加效应;其二则消除了累加效应^[37]。

自本世纪以来,人们对全球变化下自然植被物候特征的变化研究取已得了很大的进展,而对于作物物候的探索有待于更进一步。对气候变化下作物物候的研究具有深远的意义,因为作物物候的改变很可能会改变作物产量的形成过程并最终影响到作物总产量。可见,作物物候的改变不仅关系到粮食作物的产量问题,而且也关系到经济作物的效益状况。

2.4 植物物候改变导致的结果

2.4.1 生态方面

一方面,一些重要的物候(发芽、开花、成熟)变化将会改变植物的种群动态,并通过植物与其他有机体的相互作用直接或间接地改变植物的适合度^[34]。植物开花物候改变了传粉动物和食草动物的活动时段,从而减弱了植物的繁殖力^[38],并将很有可能对植物形成生殖隔离^[39]。植物物候提前后,由于种子萌发和幼苗生长没有处于一个最佳的生态环境中,从而导致植物存活率下降^[40-41]。植物的生殖成功率将会因为变暖环境而减低^[42]。另一方面,由于植物性状的可塑性,很多植物将会随着环境的变化而不断改变性状,而使自身的适合度达到最大,因出芽物候和开花物候引起的结实物候的提前将会通过种子成熟期的推迟而得到补足^[43]。因植物生境中环境因素的不断变化,长此以往,进化作用将会对植物物候进行调整,使之能够适应已变化了的环境。可见,物候可塑性和进化作为两种动力,使植物物候对气候变化有减轻效应。

植物物候的改变在群落水平带来的后果更为明显,物候可塑性较强的物种极易受环境的改变,这样将会对与它处于同一生物链上的植物、食草动物、传粉者和其他次级消费者产生连锁的时间错位,最终导致动植物生态位、群落结构的变化。最终,整个生态系统物能循环的变化也是不可避免的。

2.4.2 气候变化方面

气候变暖导致的植物春季物候提前与冬季物候延迟影响着气候特征,目前虽不能对这种效应的程度和信号明晰,但是可以肯定该过程依赖于水分的可用性和区域气候因子。这种物候改变方式提高了植被覆盖的时间跨度,但同时又改变了季节性气候特征。其机理多归结于植被光合作用和固碳作用等生化反应,以及植被覆盖地面上能量、水分等物理特征的改变而得以实现。因光合作用时间延长而导致的生物圈对二氧化碳吸入的增加势必会减少大气二氧化碳浓度,最终结果是加剧了温室效应。春季生长季的提前使植物在生育期可通过吸收更多二氧化碳、土壤水分、增加固碳作用等来提高蒸腾作用。表面上看蒸腾作用的提高具有降温 and 抑制气候变暖的效应,但是,一旦夏季土壤水分因春季的过度亏缺而变得干旱,这种降温幅度便会因土壤可用水分对植被吸收的限制而急剧下降,结果导致夏季气温反而变得异常的高。整体来看,当夏季增温和春季减温的幅度不能很好地抵消时,平均气温的升高是很有可能^[43]。

总的来讲,气候变化与植物物候变化之间的作用是相互的,重要物候期的改变,引起了土壤-植被-大气系统中水热碳交换的细微变化,反过来又作用于气候系统,加剧了气候变化。

2.4.3 人类健康方面

对于植物物候和人类健康的关系,研究较多的是提前或延长的开花期对花粉过敏人群的影响。Van Vliet 在对 1969—2000 年间荷兰西部地区花粉传播季的开始时间和持续时间跟温度变化的研究中发现:花粉传播季的提前和延长与气温升高有着密切的关系,提前程度因种间差异在 3—20d 变动;预测 2000—2099 年花粉传播季将继续提前,花粉过敏人群将会持续面临由延长的花粉传播季带来的不利;由于种间差异,不同植物开花期的提前存在着较大的差异,大多数草本的开花期提前的幅度甚微^[44]。对植物物候与人类健康关系的研究还有待于更深入。

3 结语

植物物候,作为气候变化与自然环境变化共同作用于植物体上的直接表现,已被越来越多的研究者所重视。本世纪以来,伴随着全球变化生物学的飞速发展,在国际范围内,尤其是欧洲国家在对植物物候的研究中已取得的丰富成果。我国近几十年来由竺可桢、葛全胜等人对物候学研究同样建立起了良好的基础。但是,因我国物候学研究起步晚、人力物力投入不足等不利因素,导致目前该方面的研究与国际物候学研究从研究方法、手段等许多方面仍然存在一定的差距。因此,就我国植物物候研究现状和管理体系中亟待解决的问题提出以下建议。

(1) 物候观测站的建立必须要有系统性连续性

目前中国物候观测站共计 22 个且覆盖范围狭小、一些植被区缺少观测站、没有系统性、数据量有限、甚至

数据中断而缺失、没有连续性。这些不足将会对研究人员工作在数据应用上带来很大的局限性。并且大尺度上物候与气候分析成果甚少,最终严重阻碍我国物候研究的步伐。

(2)新的技术手段必须用于物候观测和数据分析中

近年来,遥感技术、自动观测技术、Meta-analysis 等技术手段在物候学研究上的应用在很大程度上加速了对该领域向更深层次研究的进程。而我国在这些物候学研究的前沿技术手段上仍然与国外存在着很大的差距,这将严重制约我国物候学研究向更高水平的发展。

(3)对物候生理和形态机制的结合研究还需更深入

物候现象作为有机体对气候变化的响应而表现出来的适应性表型特征,而对于驱动形态特征变化的生理过程研究还比较缺乏。伴随生理生态学的发展,对于物候学研究将会逐步从宏观的形态分析走向微观的生理过程,两者的结合一定会为物候学的发展开拓出更新更广阔的领域。

(4)植物物候对极端气候响应的研究还需加强

最近几年,全球范围内的极端气候现象频繁发生,我国经历的干旱、洪涝、高温热浪、低温冷害、台风更是对全国不少地区带来了巨大的经济损失。认识植物物候对不同极端气候的响应机制,如对极端温度、持续降雨、长期干旱等,对于我们积极地应对极端气候发生从而减小损失具有重大的指导意义。

(5)中国城市化过程中对植物物候变化的研究仍需关注

大量的研究已经论证了由城市化过程引发的热岛效应带给植物物候的变化。目前中国经济正处于快速发展阶段,城市化进程日益提速。维持城市生态系统功能的稳定性,做到社会发展与生态和谐,需要人们对城市化过程中植物物候变化的机理、结果有较深层次的认识和理解。

References:

- [1] Menzel A, Sparks T H, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kübler K, Bissolli P, Braslavskú O, Briede A, Chmielewski F M, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl Å, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatzcak K, Måge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remišová V, Scheifinger H, Striz M, Susnik A J, Van Vliet A J H, Wielgolaski F E, Zach S, Zust A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 2006, 12(10): 1969-1976.
- [2] Steltzer H, Post E. Seasons and life cycles. *Science*, 2009, 324(5929): 886-887.
- [3] Zhou L M, Tucker C J, Kaufmann R K, Slayback D, Shabanov N V, Myneni R B. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106(D17): 20069-20083.
- [4] Cleland E E, Chiariello N R, Loarie S R, Mooney H A, Field C B. Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103(37): 13740-13744.
- [5] Chuine I, Cambon G, Contois P. Scaling phenology from the local to the regional level: advances from species-specific phenological models. *Global Change Biology*, 2000, 6(8): 943-952.
- [6] Keeling C D, Chin J F S, Whorf T P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature*, 1996, 382: 146-149.
- [7] IPCC: Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK:Cambridge University Press, 2007: 85-111.
- [8] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*, 1999, 397(6721): 659.
- [9] Körner C, Basler D. Phenology under global warming. *Science*, 2010, 327(5972): 1461-1462.
- [10] Rosenzweig C, Karoly D, Vicarelli M, Neofotis P, Wu Q G, Casassa G, Menzel A, Root T L, Estrella N, Seguin B, Tryjanowski P, Liu C Z, Rawlins S, Imeson A. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 2008, 453: 353-357.
- [11] Peñuelas J, Filella I. Responses to a warming world. *Science*, 2001, 294(5543): 793-795.
- [12] Körner C, Basler D. Warming, photoperiods, and tree phenology. *Science*, 2010, 329(5989): 277-278.
- [13] Schwartz M D, Reiter B E. Changes in North American spring. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(8): 929-932.
- [14] Matsumoto K, Ohta T, Irasawa M, Nakamura T. Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Global Change Biology*, 2003, 9(11): 1634-1642.
- [15] Zhang X Y, Friedl M A, Schaaf C B, Strahler A H, Hodges J C F, Gao F, Reed B C, Huete A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(3): 471-475.
- [16] Pettorelli N, Vik J O, Mysterud A, Gaillard J M, Tucker C J, Stenseth N C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to

- environmental change. *Trends Ecology and Evolution*, 2005, 20(9): 503-510.
- [17] Schwartz M D. Phenology: An Integrative Environmental Science. Nederland: Kluwer Academic Publishers, 2003: 217-235.
- [18] Sparks T H, Tryjanowski P. The detection of climate impacts: Some methodological considerations. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(2): 271-277.
- [19] Cleland E E, Chuine I, Menzel A, Mooney H A, Schwartz M D. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 2007, 22(7): 357-365.
- [20] Menzel A. A 500 year pheno-climatological view on the 2003 heatwave in Europe assessed by grape harvest dates. *Meteorologische Zeitschrift*, 2005, 14(1): 75-77.
- [21] Roetzer T, Wittenzeller M, Haeckel H, Nekovar J. Phenology in central Europe—differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2): 60-66.
- [22] White M A, Nemani R R, Thornton P E, Running S W. Satellite evidence of phenological differences between urbanized and rural areas of the eastern United States deciduous broadleaf forest. *Ecosystems*, 2002, 5(3): 260-273.
- [23] Ziska L H, Gebhard D E, Frenz D A, Faulkner S, Singer B D, Straka J G. Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2003, 111(2): 290-295.
- [24] Zhang X Y, Friedl M A, Schaaf C B, Strahler A H. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology*, 2004, 10(7): 1133-1145.
- [25] Fitter A H, Fitter R S R. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science*, 2002, 296(5573): 1689-1691.
- [26] Neil K L, Landrum L, Wu J G. Effects of urbanization on flowering phenology in the metropolitan phoenix region of USA: Findings from herbarium records. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(4): 440-444.
- [27] Luo Z K, Sun O J, Ge Q S, Xu W T, Zheng J Y. Phenological responses of plants to climate change in an urban environment. *Ecological Research*, 2007, 22(3): 507-514.
- [28] Hepper F N. Phenological records of English garden plants in Leeds (Yorkshire) and Richmond (Surrey) from 1946 to 2002. An analysis relating to global warming. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12(12): 2503-2520.
- [29] Menzel A. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2): 76-81.
- [30] Root T L, Price J T, Hall K R, Schneider S H, Rosenzweig C, Pounds J A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 2003, 421(7193): 57-60.
- [31] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 2003, 421(6918): 37-42.
- [32] Morin X, Roy J, Sonié L, Chuine I. Changes in leaf phenology of three European oak species in response to experimental climate change. *New Phytologist*, 2010, 186(4): 900-910.
- [33] Post E S, Pedersen C, Wilmers C C, Forchhammer M C. Phenological sequences reveal aggregate life history response to climatic warming. *Ecology*, 2008, 89(2): 363-370.
- [34] Hoffmann A A, Camac J S, Williams R J, Papst E, Jarrad F C, Wahren C H. Phenological changes in six Australian subalpine plants in response to experimental warming and year-to-year variation. *Journal of Ecology*, 2010, 98(4): 927-937.
- [35] Timo K, Kaija H. Impact of spring warming on sowing times of cereal, potato and sugar beet in Finland. *Agricultural and Food Science*, 2008, 17(2): 165-176.
- [36] Chmielewski F M, Müller A, Bruns E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961 — 2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 121(1/2): 69-78.
- [37] Estrella N, Sparks T H, Menzel A. Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. *Global Change Biology*, 2007, 13(8): 1737-1747.
- [38] Both C, van Asch M, Bijlsma R G, Van Den Burg A B, Visser M E. Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations?. *Journal of Animal Ecology*, 2009, 78(1): 73-83.
- [39] Hendry A P, Day T. Population structure attributable to reproductive time: Isolation by time and adaptation by time. *Molecular Ecology*, 2005, 14(4): 901-916.
- [40] Harrington R, Woiwod I, Sparks T. Climate change and trophic interactions. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14(4): 146-150.
- [41] Wagner I, Simons A M. Divergence among arctic and alpine populations of the annual, *Koenigia islandica*: morphology, life-history, and phenology. *Ecography*, 2009, 32(1): 114-122.
- [42] Hedhly A, Hormaza J I, Herrero M. Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in Plant Science*, 2009, 14(1): 30-36.
- [43] Peñuelas J, Rutishauser T, Filella I. Phenology Feedbacks on Climate Change. *Science*, 2009, 324(5929): 887-888.
- [44] Van Vliet A J H, Overeem A, De Groot R S, Jacobs A F G, Spieksma F T M. The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *International Journal of Climatology*, 2002, 22(14): 1757-1767.

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 Yuanying, 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