

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

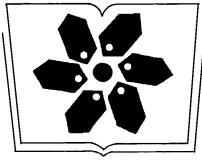
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第13期 Vol.33 No.13 **2013**

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 33 卷 第 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚婧,李颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟希,张淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳林,王信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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

DOI: 10.5846/stxb201208021096

韩福贵, 徐先英, 王理德, 王键, 张应昌, 韩生慧. 民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应. 生态学报, 2013, 33(13): 4156-4164.

Han F G, Xu X Y, Wang L D, Wang J, Zhang Y C, Han S H. Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4156-4164.

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征 及其对气候变化的响应

韩福贵^{1,2,3,4}, 徐先英^{1,2,3,4}, 王理德^{1,2,3,4,*}, 王 键^{1,2,3,4}, 张应昌^{1,2,3,4}, 韩生慧^{1,2,3,4}

(1. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 兰州 730070; 2. 甘肃省荒漠化防治重点实验室, 兰州 730070

3. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外观测研究站, 民勤 733300; 5. 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070)

摘要: 植物物候反映了过去一段时间气候条件的累积对植物生长和发育的综合影响。通过收集 1974—2007 年民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候观测数据以及民勤治沙综合试验站同步观测的气象资料, 分析了马蔺的物候特征及其对不同时间尺度气候变化的响应过程, 结果表明: (1) 马蔺的平均生长季长度约为 201.7 d, 并呈现出逐年增加的趋势, 大致表现为每 10a 延长 0.8d, 但随着年份的变化并不显著 ($P>0.1$)。 (2) 除开花期的开始时间出现明显的延后外 ($P<0.1$), 马蔺其它物候期的开始和结束时间均表现为轻微的延后趋势, 且随着年份的变化不显著 ($P>0.1$)。马蔺各个物候期的持续时间不同年份差异较大, 其中萌动期、开花期和果熟期的持续时间随着年份出现减少的趋势, 而展叶期和黄枯期的持续时间随着年份则出现增加的趋势, 但其变化均不显著 ($P>0.1$)。 (3) 马蔺整个生长季的延长可能受气温和降水的综合作用, 其物候期的开始时间对物候期开始之前 3 周到 3 个月之间的积温有着显著的响应 ($P<0.01$), 而对于长时间尺度的积温则响应不显著 ($P>0.1$); 其部分物候期的开始时间对于中短时间尺度的累积降雨有着较显著的响应 ($P<0.1$), 但是对于长时间尺度的累积降雨则所有物候期都响应较弱 ($P>0.1$)。 (4) 马蔺的物候期特征除了受区域气候变化影响之外, 可能还与其自身的水分利用机制有关, 未来的气候变化可能会进一步影响到该地区典型荒漠草本植物的物候特征。

关键词: 民勤荒漠区; 植物物候; 积温; 降水量; 马蔺

Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert

HAN Fugui^{1,2,3,4}, XU Xianying^{1,2,3,4}, WANG Lide^{1,2,3,4,*}, WANG Jian^{1,2,3,4}, ZHANG Yingchang^{1,2,3,4}, HAN Shenghui^{1,2,3,4}

1 State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Lanzhou 730070, China

2 Gansu Key Laboratory of Desertification Combating, Lanzhou 730070, China

3 Minqin National Station for Desert Steppe Ecosystem Studies, Wuwei 733300, China

4 Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China

Abstract: Growth and development of plants were always influenced by the combined effects of climate conditions accumulated in the previous periods, which was always explained by the variation of phenological characteristics of plants. With the rapidly increase of average surface temperature over the 20th century, shifts in animal and plant phenology have been widely reported in the northern hemisphere, phenology was now recognized as one of the simplest and most frequently used bio-indicators for studying the climate change. However, there are great differences in the response of plant phenology

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2102CB723203); 国家自然科学基金资助项目(41161049)

收稿日期: 2012-08-02; **修订日期:** 2012-11-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wld69@tom.com

to the climate change, and which one will be the relatively sensitive meteorological factors to the phenology of plant species, to which time scale the plant species will be responded significantly is still unknown, this make it difficult to accurately predict the responding process of plant species to the climate change. Phenological data of typical herbaceous plants (*Lris lacteal*) and the corresponding meteorological data were both collected from the Minqin Desert Botanical Garden in 1974—2007, and phenological characteristics of this species was analyzed and its response to the accumulated precipitation and temperature in different time scales were studied. The conclusions were obtained as follows:

(1) The growing season length (difference between the starting date of budding period to the ending date of wilting period) of *Lris lacteal* was about 201.7 days with an increasing rate of 0.8 days per 10 years, which was not statistically significant during 1974—2007 ($P>0.1$). (2) Except the starting date (which refers to the time when nearly 50% of the species have experienced a certain phenological event) of the flowering period showed an obvious delay, and was statistically significant, the starting date and the ending date (which refers to the time when most of the species have finished this event) of remaining phenophases all displayed a slight delay, and was not statistically significant. The duration period (days of difference between the starting and ending date of one phenology) of all the phenophases of *Lris lacteal* varied greatly in different years, in which the duration period of budding period, flowering period and fruiting period all exhibited a decreasing trend, while leafing period and wilting period both showed an increasing trend, all of which were not statistically significant. (3) The extension of growing season lengths of *Lris lacteal* was attributed to the combined effects of both temperature and precipitation. The starting date of phenophases of this species was greatly influenced by the accumulated temperature from the preceding 3 weeks to 3 months, which was statistically significant at the 95% confidence level, while which has no relations with the accumulated temperature in preceding 1—3 years. Some of the phenophases of this species has a slight response to the accumulated precipitation in short-term and mid-term period, but no influence was found on the accumulated precipitation in the long-term period. (4) Phenophases of *Lris lacteal* was not only influenced by the local climate change, but also has some relations with its water use mechanisms, climate change in the future may have an great influence on the phenological characteristics of typical herbaceous plants in this desert area.

Key Words: Minqin desert; plant phenology; accumulated temperature; precipitation; *Lris lacteal*

植物的物候不仅是植物自身的生理现象,而且也是对外部生境、气候、水文条件的综合反应。因此,物候学自诞生以来一直是生态学和气候学研究的重要内容和重要方法之一。植物物候对气候变暖的响应也是近些年来物候学研究的一个热点。国外的研究成果主要集中在物候对气候变暖的响应方面,即春季物候期提前,秋季物候期推迟。物候是自然界的生物和非生物受气候和外界环境因素综合影响而表现出的季节性现象。如植物的萌芽、展叶、开花、结实、叶变色和落叶等。植物物候是指植物受气候和其它环境因子影响而表现出的以年为周期的自然现象,是植物长期适应气候季节性变化而形成的生长发育规律^[1]。大多数植物的生命循环周期是与温度、降水和光照的季节性变化密切相关的,物候是植物季节性变化宏观而综合的体现,其反映了过去一段时间气候条件的累积对植物生长和发育的综合影响^[2]。植物物候是气候变化精确而灵敏的指示剂,已成为近些年来研究气候变化简单而且普遍使用的重要指标。近些年来,随着全球气温上升,气候变暖已成为全人类共同关注的话题,植物物候对气候变化的响应已成为当前国际研究的热点之一^[3]。

Zhou 等人对 1981—1999 年北半球的 NDVI 指数研究发现,在 40°N 以北欧亚地区植被物候春季提前 7 d,而秋季推迟 10 d,整个生长季延长约 18 d,北美地区植物的生长季也延长了 12 d,并得出植物生长季的延长与气温变化有很好的相关性^[4]。Beaubien 等对加拿大西部地区的山杨研究也发现,其发芽日期比半个世纪前提早了近 26 d^[5]。Chmielewski 等通过对欧洲国际物候园 1969—1998 年的资料分析表明,气候变化使欧洲地区植物生长季长度平均每 10a 延长 2.7 d^[6]。Ahas 等人研究了欧洲中西部地区的植物春季物候期,发现其在 50 年间提前了近 4 周,其中苹果、椴树、白桦和紫丁香的花期平均每 10a 提前 1—3 d^[7]。欧洲地区早春气温每升

高 1°C ,植物生长季提早民勤县位于中国西北甘肃河西走廊东北部石羊河约7d,年均温升高 1°C ,生长季长度延长5d^[4]。在亚洲地区,韩国首尔1922—2004年间灌木和乔木春季开花时间平均每10a提前0.5—2.4d^[8]。常兆丰等对民勤荒漠区18种乔木的物候研究结果也表明,34年间植物发芽平均提前8.8d,而落叶期平均延迟4.5d。春季物候的提前幅度相对较大,其物候期的提前主要与短期的升温有关,而与降水量的关系不大^[9]。白洁等对贵阳木本植物物候的研究发现,其春季物候期提前,且与平均温度的相关性较好,而秋季物候期推迟,与气候因子的相关关系不明显^[10]。吴瑞芬等对内蒙古典型草本植物春季物候期研究表明,植物始花期与前期温度呈明显负相关,春季温度是影响开花的主要因子,未来温度上升 1°C ,始花期提早3.1—5.0d^[11]。陈效速等对该地区羊草物候研究也表明,气温每升高 1°C ,羊草的返青期将提前约2.4d,黄枯期提前约3.7d,且其对于不同气候因子的响应存在着区域差异^[12]。

植物物候是植物对过去一段时间内气候因子累积的综合反映,但是其对于哪些气候因子的响应相对敏感,在多大的时间尺度上响应较为敏感则研究较少,且不同区域不同物种对于同一气候因子的响应也存在着很大的差异,导致无法准确预测植物物候期对于气候变化的响应过程。由于数据的缺乏,目前国内外对于荒漠地区草本植物的物候研究仍然不足^[12],本论文选取甘肃省民勤沙生植物园观测时间相对较长,且相对比较连续的典型荒漠草本植物马蔺(*Lris lacteal* Pall. Var. *chinensis* (Fisch.) Koidz)作为研究对象,分析马蔺物候期的变化特征及其对不同时间尺度累积气温和降水量的响应过程及其差异,以便为干旱地区的生态环境保护提供基础依据。

1 研究区域与数据分析

1.1 研究区概况

民勤荒漠区地处河西走廊东北侧的石羊河流域下游,腾格里沙漠的西缘,地理位置为 $102^{\circ}03'—104^{\circ}03'E$, $38^{\circ}05'—39^{\circ}06'N$,土地总面积约为 16016 km^2 ,境内平均海拔为1378m,最低为1000m^[13]。其三面被沙漠、戈壁包围,表现出东部和西部沙窝,中部绿洲,北部湖区的地形特征。气候总体特点为光热丰富,风大沙多,降水稀少,蒸发强烈,气候干燥,多年平均气温为 7.8°C ,平均年降水量为116.4mm,年蒸发量为2383.7mm,干燥度为5.85,年平均风速为2.4m/s,以西北风为主,属于我国最典型的干旱荒漠地区。石羊河为该地区最主要的地表水资源,地下水位以平均每年0.5—1.0m的速度下降。地带性土壤为灰棕荒漠土,植被先后经历了历史时期的沼泽植被、退化的盐化草甸植被和近代的荒漠植被3个阶段,其天然分布的植被以沙旱生植物为主,普遍盖度较低,难以利用遥感数据对其物候进行监测。

1.2 数据资料与研究方法

本文采用物候数据的收集来自于民勤沙生植物园长期的定位观测,其在1974年被中国科学院植物所列为国家级物候观测网络站点之一。物候观测是以定人定时定株为原则,生长季1周观测2次,而非生长季1个月观测2次。一般对于某一物种选择3—5个植株进行物候观测,以免某些植株在观测过程中死亡。物候的观测期从萌动期开始到黄枯期结束,采用的主要物候指标包括植物整个生长季长度(从萌动期开始到黄枯期结束)、春季物候期(包括萌动期、展叶期、开花期和果熟期)和秋季物候期(黄枯期)的开始时间、结束时间和持续时间^[14]。气象资料来自于民勤治沙综合试验站同步观测的数据,降雨量的大小采用某一物候期开始之前的短(1周,2周和3周)、中(1月,2月和3月)和长时间尺度(1a,2a和3a)的累积降雨量作为影响物候的主要因素,而温度则采用某一物候期开始之前短(1周,2周和3周)、中(1月,2月和3月)和长时间尺度(1a,2a和3a)大于 0°C 的积温作为影响物候的主要因素,分析每个物候期的开始时间与不同时间尺度气象因子之间的关系。如1989年马蔺的春季物候期开始日期为4月1日,之前的一周就是指3月24日—3月31日,以此类推。在数据处理中,为了统计分析方便采用年序列累积日数法表示植物物候期的开始和结束时间,即将植物物候现象出现的日期转换为以当年1月1日开始的实际日数,得到物候期现象的时间序列^[14]。数据分析采用spss13.0软件完成,相关图幅利用origin7.0绘制。

2 结果与分析

2.1 马蔺生长季长度的变化特征

根据 1974—2007 年民勤荒漠区植物园的物候观测数据,对马蔺的生长季长度统计分析表明(图 1),近 34 年马蔺的生长季长度变化范围为 160—220 d,平均生长季长度 201.7 d,标准偏差 ± 11.6 d,生长季长度总体呈现出延长的趋势,平均延长 0.8 d/10 a,但随着年份的变化趋势并不显著($P>0.1$)。从 1974—2007 年的数据分析来看,其生长季的增加趋势不明显,但是从 1985—2007 年的数据分析发现,生长季在这 23a 的增加比较显著,而且能够达到统计学的意义,显著性概率 $P=0.037$,比较显著($P<0.05$)。

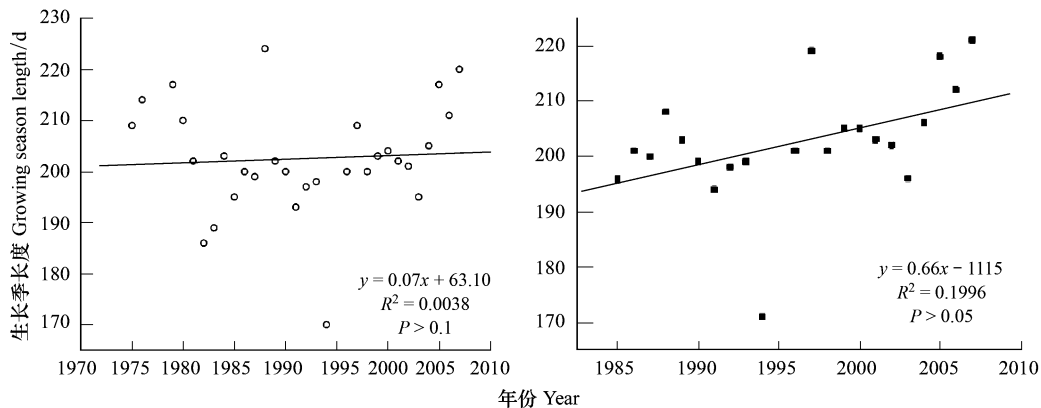


图 1 马蔺生长季长度变化特征

Fig. 1 Growing season length of *Liris lacteal* in different years

2.2 马蔺物候期的变化特征

2.2.1 马蔺的春季物候期特征

马蔺的春季物候期主要包括萌动期,展叶期,开花期和果熟期,不同物候期的开始日期、结束日期和持续时间等在不同年份差异均较大(图 2)。从 1974—2007 年,马蔺萌动期、展叶期和果熟期的开始日期和结束日期均表现出轻微的延后现象,但随着年份变化并不显著($P>0.1$);仅有开花期的开始日期表现出显著的延后现象,且随着年份的变化一般显著($P<0.1$),开花期的结束日期虽表现出一定的延后现象,但随着年份的变化不显著($P>0.1$)。萌动期的持续时间为 (8.8 ± 4.8) d、开花期的持续时间为 (80.5 ± 10.8) d,果熟期的持续时间为 (42.0 ± 10.7) d,三者的持续时间不同年份差异较大,且均呈现出轻微的减少趋势,而展叶期的持续时间为 (30.8 ± 6.3) d,其则表现出一定的增加趋势,但均随着年份变化不显著($P>0.1$)。

2.2.2 马蔺的秋季物候期特征

马蔺的秋季物候期主要是指其黄枯期(图 3),黄枯期的开始日期和结束日期在不同年份的差异均较大,从 1974—2007 年,马蔺黄枯期开始日期和结束日期均出现了轻微的延后现象,但随着年份变化并不显著($P>0.1$);黄枯期持续时间为 (38.2 ± 11.4) d,不同年份之间差异较大,其持续时间有所增加,但随着年份变化不显著($P>0.1$)。

2.3 马蔺物候对气候因子的响应及其差异

2.3.1 马蔺物候期开始时间对不同时间尺度积温的响应

对马蔺各物候期开始时间与积温之间的关系研究发现(图 4),马蔺的萌动期、展叶期和开花期的开始时间与物候期开始之前的 2—3 个月的累积平均温度的相关性最好,相关系数分别达到 0.545、0.657 和 0.759,并且两者之间变化非常极著($P<0.01$),而与物候期开始之前 2—3 周的积温有一定的相关性,相关系数分别达到 0.502、0.631 和 0.465,且二则的变化也比较显著($P<0.05$),但与物候期开始之前 1—3a 的积温之间相关系数较低,分别为 -0.025 、 0.008 和 0.165 ,且二者的变化不显著($P>0.1$)。而果熟期只与物候期开始之前 3 个月的积温之间有一定的相关性,相关系数达到 0.365,二者的变化一般显著($P<0.1$),但与物候期开始之

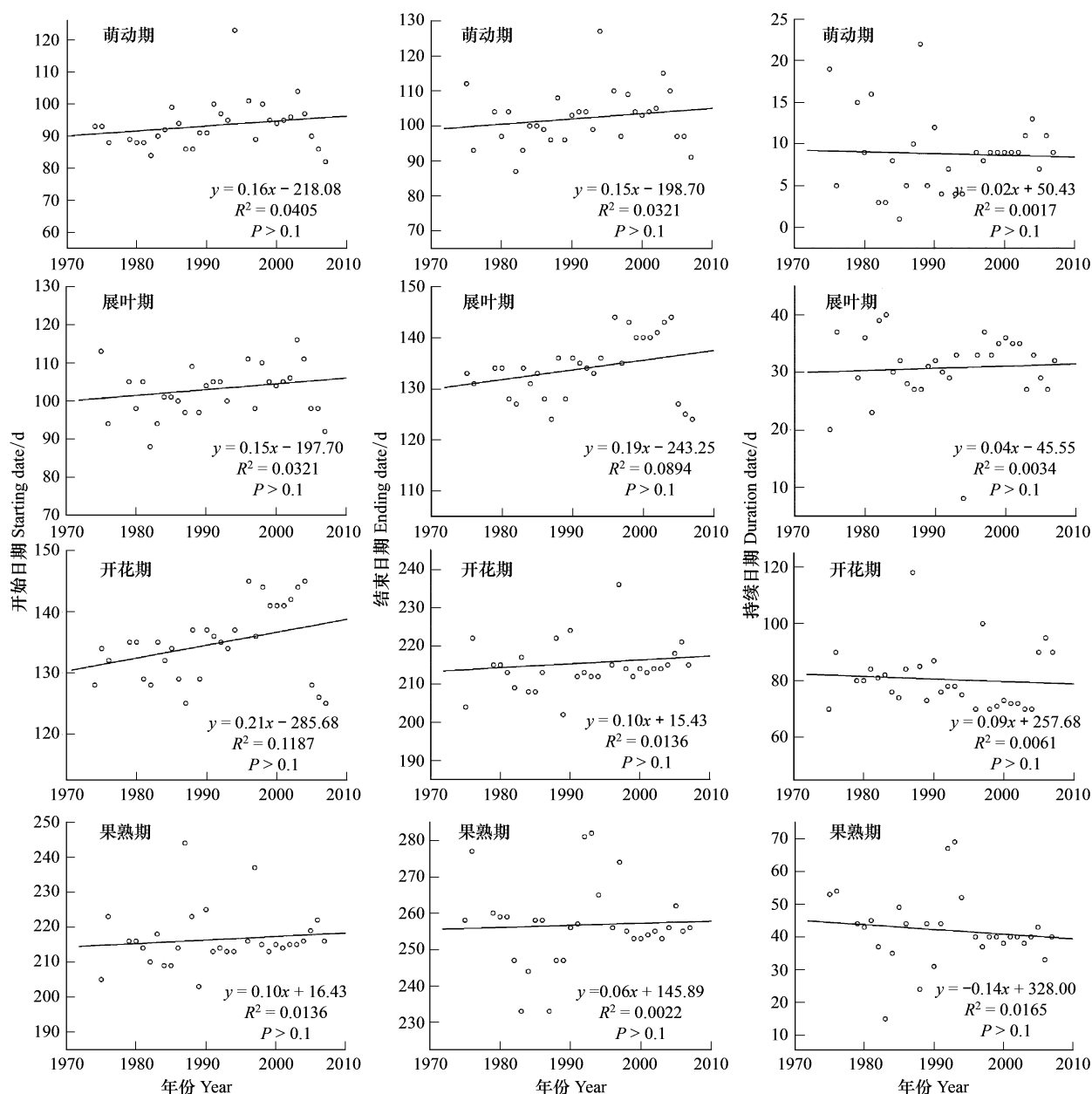


图2 马蔺春季物候期变化特征

Fig. 2 Characteristics of spring phenology of *Lris lacteal*

前其它时段的积温之间相关系数均较低,且二者变化不显著($P > 0.1$)。黄枯期的开始时间与物候期开始之前1—3周及1—2个月的积温均有非常显著的相关性($P < 0.01$),且与物候期开始之前3周的积温之间相关系数最高,达到-0.853,而与物候期开始之前1—3a的积温之间相关系数较低,且二者变化不显著($P > 0.1$)。说明马蔺各物候期开始时间对于物候期开始之前积温的响应主要表现在对中短时间尺度响应较为明显,而对于长时间尺度的积温响应不显著。在中短时间尺度中,植物各物候期开始时间大部分表现为与其前3周到3个月之间的积温相关性最强,说明植物各物候期的开始并不是短时间的温度效应所致,而是需要一段时间(约3周)的温度累积。

2.3.2 马蔺物候期开始时间对不同时间尺度降水的响应

对马蔺各物候期开始时间与前期累积降水量之间的关系研究发现(图5),其物候期开始时间对于累积降水量的响应较为复杂。萌动期和开花期的开始时间分别对物候期开始之前1周和3周的降水量有一定的响

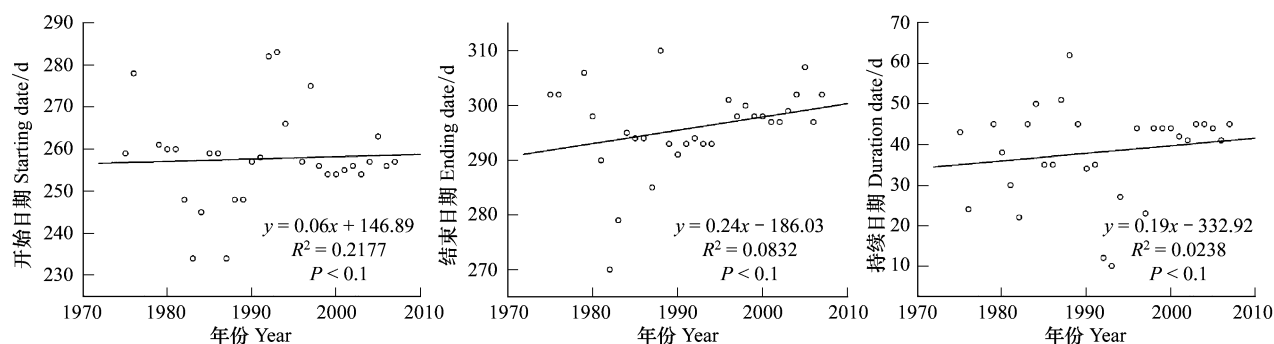


图3 马蔺秋季物候期变化特征

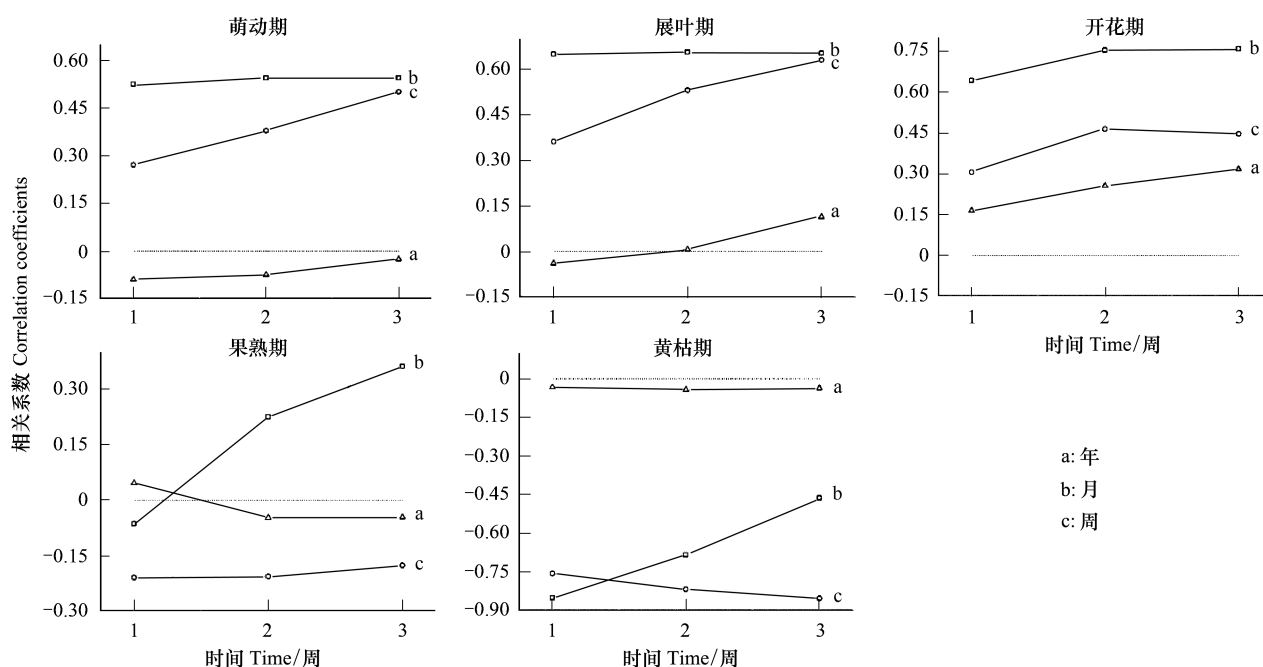
Fig.3 Characteristics of autumn phenology of *Liris lacteal*

图4 马蔺各物候期开始时间与之前的1—3年、月、周的积温的相关系数

Fig.4 Correlation coefficients of starting date of *Liris lacteal* phenology with accumulated temperature in each of the preceding 1—3 weeks

应,其相关系数分别达到0.346和0.314,且二者变化一般显著($P < 0.1$),展叶期和果熟期的开始时间对于其开始之前不同时间尺度的累积降水量均有响应,但二者变化不显著($P > 0.1$),而黄枯期的开始时间与之前2个月的累积降雨量之间有着很好的相关性,其相关系数达到0.308,且二者变化一般显著($P < 0.1$),但是与短时间尺度和长时间的累积降雨量之间关系不大,且二者变化不显著($P > 0.1$)。因此马蔺的物候期开始时间总体表现为部分物候期开始时间对其物候期开始之前的中短时间尺度的累积降雨量响应较为明显,而对于长时间尺度的累积降雨量响应则不显著。

3 讨论与结论

3.1 主要结论

对1974—2007年民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征研究表明,其生长季长度平均约为201.7d,总体变化呈现延长趋势,其延长程度为0.8 d/10 a,其中春季物候期延后1.6 d/10 a,持续时间表现为微弱的减小趋势,而秋季物候期延后2.4 d/10 a,持续时间表现为微弱的增大趋势,但两者随年份变化均不显著。马蔺的各物候期开始时间对于物候期开始之前的累积积温和降雨量的响应都表现在对中短时间尺度的累积响应

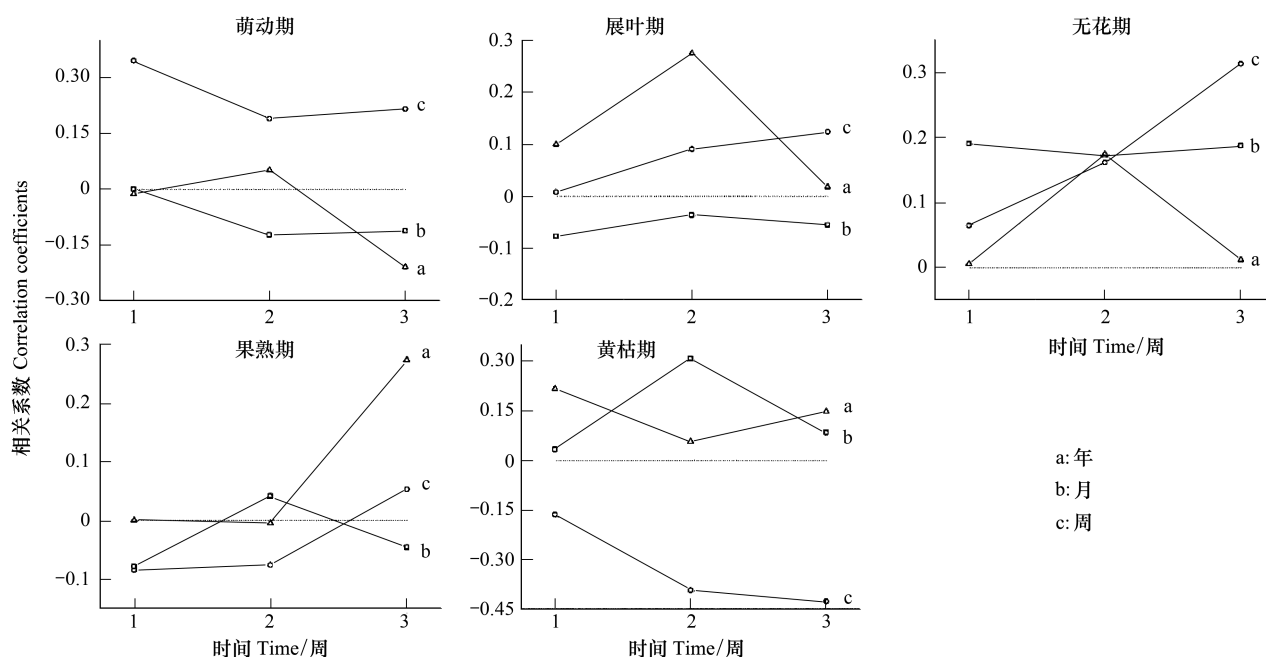


图5 马蔺各物候期开始时间与之前的1—3年、月、周的累积降水量的相关系数

Fig. 5 Correlation coefficients of starting date of *Lris lacteal* phenology with total precipitation in each of the preceding 3 weekly, months or years

较为明显,而对大时间尺度的累积响应则不明显。马蔺的物候期的变化特征除了受区域气候变化影响之外,其水分利用机制可能也会对物候期的变化特征产生影响。民勤地区目前植被退化严重,乔灌木大量死亡,荒漠化程度不断加剧,生态环境趋于恶化,而草本植物的退化则相对较少,可能最终会成为未来该地区植被演替的顶级群落。因此加强民勤荒漠地区典型草本植物的物候变化特征及其对气候变化的响应研究有助于为该地区的荒漠化防治和生态环境改善提供依据。

3.2 讨论

与乔木和灌木的生长季长度相比^[9,14],马蔺的生长季长度相对较短,但随着全球气温的不断上升,其整个生长季也表现出延长的趋势,这与对青海和内蒙古典型草本植物^[12,15]的物候研究结果基本相同。但和以上研究相比,马蔺的春季和秋季物候期均表现出延后的趋势,且秋季物候期的延后趋势更加明显(表1),究其原因可能在于不同地区同一生活型的物种对于气象因子的响应也存在着很大的差异。陈效述等对内蒙古草原羊草物候与气象因子的关系研究就发现,某一区域植物生长的限制因子可能会成为该物种物候期变化的主要原因^[12]。由于青海和内蒙古研究区年降水量相对较多,其表层土壤水分较为充足,所以当温度累积到一定程度,该地区的草本植物将提前进入春季物候期,而民勤荒漠区降雨量相对以上两个地区偏少,表层土壤水分不足,且地下水位过深,草本植物难以利用,而温度的升高一方面可能会加速表层土壤水分蒸发,另一方面可能会由于春季气温显著升高,低温积累不足,植物难以打破休眠,二者的综合作用可能导致民勤地区马蔺春季物候期的延迟。不同类型的植物的物候特征是不相同,沙旱生植物在生境条件极其恶劣的条件下,物候期会延后甚至停止开花、结实。沙旱植物物候对于干旱荒漠生态气候监测研究、沙区植被建设与保护等都具有重要意义^[20]。另外,同样处于荒漠区,本研究与新疆准噶尔荒漠地区草本植物春季物候提前的研究结果也不同^[16],主要原因可能在于初春时期新疆地区高山融雪为植物萌发提供了较好的水分,有利于该地区草本植物萌发期的提前,而民勤地区的植被则无法利用高山融水。

同一地区不同生活型的物种对于气象因子的响应也有着很大差异,与前人关于民勤地区乔木与灌木的物候特征对气候变化的响应研究对比发现,不同生活型的物种对于气温的响应均表现在对中短时间尺度的累积温度响应较为明显,而对于长时间尺度的累积温度响应不明显^[9,14]。但不同的是,乔木和灌木对于不同时间

尺度的累积降雨量响应均不明显,而草本植物马蔺则有部分物候期对于中短时间尺度的累积降雨量有着一定的响应,这可能与不同生活型的植物对于区域降水格局的响应机制有关。民勤地区 82.3% 的降雨事件都以 0—5mm 的降雨出现,大于 20 mm 的降雨只占民勤地区降雨事件的 1.6%^[17]。与乔木和灌木相比,草本植物根系的分布相对较浅,对于 2—5 mm 的降雨量即可产生响应,导致马蔺的部分物候期开始时间与之前的累积降雨量有着很好的相关性,而乔木和灌木的根系则相对较深,对于小降雨事件的响应较弱,因此其物候期的开始时间和其开始之前的累积降雨量之间相关性很低。此外,Ghazanfar 研究也表明,降雨量的波动对于高位芽植物的开花期几乎没有影响,可能在于其有特殊的水分储存器官,与土壤水分的可利用性关系不大^[18]。但是马蔺的开花期期对于其开始之前短期的累积降雨量有很好的响应,而且变化比较显著,可能在于其属于低位芽植物,且没有特殊的水分储存器官。顾润源等对内蒙古中西部荒漠草原的马蔺开花期开始时间研究也发现,其开花所需的热量条件能够得到满足,而春季的降水成为限制马蔺开花期的主导因子^[19]。因此,干旱荒漠地区草本植物的物候期变化特征对于气候变化的响应除了受区域环境因素影响外,可能还与其水分利用机制有关。

表 1 不同地区草本植物物候变化特征

Table 1 Phenological characteristics of typical herbaceous species in different areas

地区 Area	物种 Species	年代 Time	降水量/mm Yearly precipitation	降水量变化 Trends of yearly precipitation	春季物候 Spring phenology	秋季物候 Autumn phenology	文献来源 References
青海	冰草 <i>Agropyron</i>	1991—2003	380	减少	提前	提前	[15]
新疆	鼠毛菊 <i>Epilasia hemilasia</i> (Bunge)	1997—2005	150	—	提前	—	[16]
内蒙古	羊 草 <i>Leymus chinensis</i> (Trin.)	1983—2002	275	减少	提前	提前	[12]
民勤	马蔺 <i>Irisquinone</i>	1974—2007	116	增加	延后	延后	本文研究

马蔺的物候期开始时间不仅受到其开始之前的积温的影响,而且受到开始之前累积降雨量的影响,但总体表现为对于开始之前的 3 周到 3 个月之间的积温和降雨量响应较为明显,而对于开始之前的长期积温和降雨量的响应不明显。这与陈效逯等人的研究结果也比较一致,其均认为草本植物的物候期主要受短期气温变化的影响,而与长期气温变化的关系不大^[12,19-20]。El-Ghani 等人研究也发现,荒漠地区的植被物候主要受到降雨和温度的影响^[21],特别是生长季开始之前的几个月的降雨^[22]。除了温度和降雨之外,其它一些因素例如寒冷,干旱,光周期,土壤水分的可利用以及海拔等都会影响到植物的物候期变化。因此未来除了通过野外长期定位观测之外,仍然需要通过进一步分析其它影响因素对于植物物候的影响机理,以便更加全面的阐明典型荒漠植物对于气候变化的响应过程,为人类社会更好的适应气候变化提供基础依据。

References:

[1] Wang L X, Chen H L, Li Q, Yu W D. Research advances in plant phenology and climate. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 447-454.

[2] Liu J, Zheng Y F, Zhao G Q, Chen H L. Responses of phenology to climate change in Zhengzhou area. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1471-1479.

[3] Fan G Z, Jia Z J. Study advances on plant phenology. *Journal of Arid Meteorology*, 2010, 28(3): 250-255.

[4] Zhou L, 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.

[5] Beaubien E G, Freeland H J. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44: 53-59.

[6] Chmielewski F M, Rotzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agriculture and Forest Meteorology*, 2001, 108(2): 101-112.

- [7] Ahas R, Aasa A, Menzel A, Fedotova V G, Scheifinger M. Changes in European spring phenology. *International Journal of Climatology*, 2002, 22: 1727-1738.
- [8] Ho C H, Lee E J, Lee I, Jeong S J. Earlier spring in Seoul, Korea. *International Journal of Climatology*, 2006, 26(14): 2117-2127.
- [9] Chang Z F, Han F G, Zhong S N. Relationships between phenology of 18 tree species and air temperature change in the Minqin desert area of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(2): 311-319.
- [10] Bai J, Ge Q S, Dai J H. Response of woody plant phenophases to climate change for recent 30 years in Guiyang. *Geographical Research*, 2009, 28(6): 1606-1614.
- [11] Wu R F, Huo Z G, Cao Y F, Yan W X. Phenophase change of typical herbaceous plants in Inner Mongolia in spring and its response to climate warming. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(8): 1470-1475.
- [12] Chen X Q, Li J. Relationships between *Leymus chinensis* phenology and meteorological factors in Inner Mongolia grasslands. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5280-5290.
- [13] Chang Z F, Zhao M. Study on desert ecology in Minqin. Gansu Science and Technology Press, Lanzhou, 2006: 1.
- [14] Du J H, Yan P, Dong Y X, Han F G. Phenological response of *Nitraria tangutorum* to climate change in Minqin County, Gansu Province, northwest China. *International Journal of Biometeorology*, 2010, 54: 583-593.
- [15] Qi R Y, Wang Q L, Shen H Y. Analysis of phenological-phase variation of herbage plants over Qinghai and impact of meteorological conditions. *Meteorological Science and Technology*, 2006, 34(3): 306-310.
- [16] Zhang X T, Tan D Y. Phenology of 10 ephemeral species of Asteraceae in relation to the main meteorological factors. *Arid Zone Research*, 2007, 24(4): 470-475.
- [17] Du J H, Yan P, Dong Y X. Precipitation characteristics and its impact on vegetation restoration in Minqin County, Gansu Province, northwest China. *International Journal of Climatology*, 2011, 31: 1153-1165.
- [18] Ghazanfar S A. The phenology of desert plants; a 3-year study in a gravel desert wadi in northern Oman. *Journal of Arid Environment*, 1997, 35: 407-417.
- [19] Gu R Y, Zhou W C, Bai M L, Li X C, Di R Q, Yang J. Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(3): 767-776.
- [20] Lu P L, Yu Q, Liu J D, He Q T. Effects of changes in spring temperature on flowering dates of woody plants across China. *Botanical Studies*, 2006, 47: 153-161.
- [21] El-Ghani M M A. Phenology of ten common plant species in western Saudi Arabia. *Journal of Arid Environment*, 1997, 35: 673-683.
- [22] Schmidt H, Karnieli A. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. *Journal of Arid Environment*, 2000, 42: 1-12.
- [23] Chang Z F, Han F G, Zhong S N. Analyse on Reason for Change of Phenophase Accumulated Temperature 36 Kinds of Plants in the Minqin Desert Area. 2010, 26(10): 295-302.
- [24] Chang Z F, Zhao M, Han F G, Zhong S N, Li F M. Phenological Characteristics of Desert Plant in Minqin Desert Area, 2008, (5): 58-64.

参考文献:

- [1] 王连喜, 陈怀亮, 李琪, 余卫东. 植物物候与气候研究进展. *生态学报*, 2010, 30(2): 447-454.
- [2] 柳晶, 郑有飞, 赵国强, 陈怀亮. 郑州植物物候对气候变化的响应. *生态学报*, 2007, 27(4): 1471-1479.
- [3] 范广洲, 贾志军. 植物物候研究进展. *干旱气象*, 2010, 28(3): 250-255.
- [9] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年. 甘肃民勤荒漠区 18 种乔木物候与气温变化的关系. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 311-319.
- [10] 白洁, 葛全胜, 戴君虎. 贵阳木本植物物候对气候变化的响应. *地理研究*, 2009, 28(6): 1606-1614.
- [11] 吴瑞芬, 霍治国, 曹艳芳, 闫伟兄. 内蒙古典型草本植物春季物候变化及其对气候变暖的响应. *生态学杂志*, 2009, 28(8): 1470-1475.
- [12] 陈效述, 李惊. 内蒙古草原羊草物候与气象因子的关系. *生态学报*, 2009, 29(10): 5280-5290.
- [13] 常兆丰, 赵明. 民勤荒漠生态研究. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2006: 1.
- [15] 祁如英, 王启兰, 申红艳. 青海草本植物物候期变化与气象条件影响分析. *气象科技*, 2006, 34(3): 306-310.
- [16] 张学涛, 谭敦炎. 10 种菊科短命植物的物候与主要气象因子的关系. *干旱区研究*, 2007, 24(4): 470-475.
- [19] 顾润源, 周伟灿, 白美兰, 李喜仓, 邸瑞琦, 杨晶. 气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响. *生态学报*, 2012, 32(3): 767-776.
- [23] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年. 甘肃民勤荒漠区 36 种植物物候期积温变化动因分析. *中国农学通报*, 2010, 26(10): 295-302.
- [24] 常兆丰, 赵明, 韩福贵, 仲生年, 李发明. 民勤沙区主要植物的物候特征. *林业科学*, 2008, (5): 58-64.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《生态学报》2013 年征订启事

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

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

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 彭少麟

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 33 卷 第 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元