

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第3期 2012年2月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等	(663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等	(671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等	(680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春干	(690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等	(699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等	(706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	.....	.....
.....	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺	(715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等	(723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵	(730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁	(740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等	(758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等	(767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	.....	.....
.....	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等	(777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富	(786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等	(796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等	(805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等	(815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等	(823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	.....	.....
.....	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等	(833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞	(844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等	(852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等	(863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧	(871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等	(879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等	(889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼 $\text{Na}^+ \text{-K}^+$ -ATPase 活力的联合效应	.....	.....
.....	王海贞, 王辉, 强俊, 等	(898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹	(907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等	(915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等	(923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等	(931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等	(942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波	(955)
专论与综述	.....	.....
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军	(964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林	(974)
研究简报	.....	.....
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅	(984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等	(993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物的特性	陈博, 李志华, 何茜, 等	(999)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02	.....	.....



封面图说:难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木,高达 25 米,主干挺直,树冠尖塔。树干基部膨大,常有屈膝状吐吸根,池杉为速生树,强阳性,耐寒性较强,耐干旱,更极耐水淹,多植于湖泊周围及河流两岸,是能在水里生长的极少数的大乔木之一,故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地,中国于本世纪初引种到江苏等地,之后大量引种南方各省,尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

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

DOI: 10.5846/stxb201106300979

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.
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.

气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响

顾润源^{1,2},周伟灿¹,白美兰^{2,*},李喜仓²,邸瑞琦²,杨晶²

(1. 南京信息工程大学,南京 210044; 2. 内蒙古自治区气候中心,呼和浩特 010051)

摘要:自然物候期是气候变化最直观的植物信号记录,自然物候变化是气候与自然环境变化的综合指标。基于1983—2009年内蒙古草甸草原、典型草原和荒漠草原区典型植物马兰草、霸王、贝加尔针茅和羊草生长期物候观测资料和同时段的气象观测资料,利用数理统计等方法,分析了不同草原区典型植物物候期与气候要素间的相互关系,结果表明:(1)1983—2009年内蒙古草原区植物物候总体呈提前趋势,但地域差异明显,典型草原区植物萌芽返青、开花及黄枯期等物候提早趋势最为明显,说明不同草原区植物物候对气候变暖的区域响应不同。(2)内蒙古草原区植物物候期与气候变化密切相关。春季3—5月累积气温与植物萌芽返青期和开花期呈显著负相关,与日照时数为正相关,降水量对其影响不同草原区差异较大。荒漠草原和典型草原区植物黄枯期早晚与黄枯前1—2个月平均气温呈显著负相关,草甸草原区植物黄枯期与前1—2个月的降水量和日照时数有关,与气温关系不显著。(3)随着气候变暖,马兰草生长期缩短,霸王、贝加尔针茅和羊草生长期延长,其中典型草原区主要植物针茅生长季延长趋势最为明显,荒漠草原次之,草甸草原延长最少。

关键词:草原类型;植物物候;气候变化;区域响应

Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia

GU Runyuan^{1,2}, ZHOU Weican¹, BAI Meilan^{2,*}, LI Xicang², DI Ruiqi², YANG Jing²

1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

2 Inner Mongolia Autonomous Region Climate Center, Hohhot 010051, China

Abstract: Phenology is the most intuitive signal of climate change. Changes in phenology reflect changes in climate and the natural environment. To both understand and manage the impacts of climate change on ecosystems we need to search for ways to forecast climate trends and for ways to mitigate climatic deterioration. We used statistical analysis, meteorological data and typical plant phenological periods in different grasslands to study the relationships between phenology and meteorology. We studied *Kalimeris indica* (L.) Sch.-Bip., *Sarcozygium xanthoxylon* Bunge, *Stipa baicalensis* Roshev and *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. in meadow grasslands, typical grasslands and desert grasslands in Inner Mongolia from 1983 to 2009. First, the analysis considered the phenology of these plants of the grasslands of Inner Mongolia, looking at three stages, the return of green sprouts, the blossoming stage and the stage at which the plants became yellow and withered. Plants in different grasslands are responding differently to climate warming. When the average temperature in spring (March to May) increases by 1°C, the flowering period will be earlier by 7.2, 4.1, and 2.5 days in typical grasslands, desert grasslands and meadow grasslands, respectively. Second, the phenological phases of these grassland plants are closely related to climate change. The date when green sprouts appear and blossoms form is significantly negatively correlated with the cumulative temperature in spring (March to May), and is positively correlated to daylength.

基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF2010-1);国家科技支撑计划(2007BAC29B04)

收稿日期:2011-06-30; **修订日期:**2011-11-18

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: nmghrq@sina.com

These dates are also influenced by precipitation in different grasslands. The date of the yellow withered stage is negatively correlated with average monthly temperature before withering and yellowing in desert grassland and typical grassland. The date of the yellow withered stage is closely related to precipitation and daylength prior to withering and yellowing in meadow grasslands, but is not significantly related to temperature. Third, with climate warming, the growing period for *K. indica* has shortened. The growing period for *S. xanthoxylon*, *S. baicalensis* and *L. chinensis* has lengthened with the length of the growing period for *S. baicalensis* in typical grasslands increasing the most. The duration of the growing period in desert grasslands also increased while the growing period in meadow grasslands showed the least amount of lengthening.

Key Words: grassland type; phenological phase; climate change; phenological phase response

自然物候期是气候变化最直观的植物信号记录,自然物候变化是气候与自然环境变化的综合指标。通过对物候资料和现象的分析研究,掌握植物物候的变化规律,不仅能清楚地了解气候变化情况及其对植物物候的影响,而且对了解气候变化对生态系统的影响、寻找缓解气候变化的措施以及保护生态环境,预测、鉴定气候变化趋势等方面具有重要的意义。有关气候变化对植物物候影响方面的研究,国外起步较早,在20世纪50—60年代Menzel、Walther G R、Chmielewski等^[1-3]人研究表明:欧洲一些树木的春季开花和展叶期平均每10a提前2—2.7 d,秋季叶变色和落叶期平均每10 a推迟0.9—1.6 d,据此,植物物候生长季节每10 a延长3—4 d等。我国有关植物物候的研究主要集中在20世纪80年代之后,取得了大量的研究成果,郑景云、张学霞等^[4-13]人根据中国科学院物候观测网络26个观测点的物候资料,分析了近40a我国木本植物物候变化及其对气候变化的响应,研究得到由于20世纪80年代以后我国大部分地区春季增温,东北、华北等地区物候期提前等结论。据此,气温被认为是影响植物物候期和生长季节的关键气象因子。由于数据的缺乏,到目前为止,国内外对草原植物物候的研究一直很薄弱。内蒙古地区植物物候的相关研究较少^[14-17],主要集中在2000年之后,侧重于草原地上生物量的变化、植物群落演替、草原退化、植物春季物候变化以及对气候变化的响应等方面,但主要针对典型草原区春季物候变化与气候条件的关系,没有从整个区域角度和植物生长季等方面分析物候与气候变化的关系。气候变暖在植物整个生长季影响显著。因此,从区域和植物生长季尺度的角度,深入的分析和研究区域气候和植物物候的变化规律,对评估气候变化对内蒙古草原植物的影响,指导当地的农牧业生产、监测生态环境变化及生态保护利用等具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 资料来源

内蒙古草原区植物物候观测始于20世纪80年代初期,有24个气象站观测植物物候,并科学地分布于不同草原类型的草甸草原、典型草原和荒漠草原等区域。根据区域、分区域分植物和观测资料具有的代表性、连续性、准确性的“三性”研究原则,选取植物物候和不同时段的光、热、水气候资料年代为1983—2009年;各区域代表站选取分别为草甸草原区选取受人为活动影响较小的巴彦尔吐胡硕气象与物候观测站、典型草原区选取察右后旗气象与物候观测站;荒漠草原选取巴彦高勒气象与物候观测站。根据收集到观测资料的完整性、资料年代的长短,以及春季最早开花的植物比晚开花的植物对温度的响应敏感度高等原则,选择草原区分布最广的马兰草(*Kalimeris indica* (L.) Sch.-Bip)和草场中最早返青的牧草(本文羊草、贝加尔针茅等牲畜食用的植物统称为牧草)作为内蒙古草原草本植物的代表。荒漠草原区选取霸王(*Sarcocygium xanthoxylon* Bunge)、典型草原区选贝加尔针茅(*Stipa baicalensis* Roshev)、草甸草原区选取羊草(*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel)作为研究对象。均选取植物的萌芽(返青)期、开花期和黄枯期3个生长发育关键阶段进行物候变化特征研究。

1.2 研究方法

(1) 线性倾向估计方法

本文用一次线性方程来定量描述植物物候期和光、热、水气候要素自回归的变化趋势,即以年代 t 为时间

因子,植物物候期和气候要素 x 为模拟对象,建立 x 与 t 之间的线性回归方程: $x(t) = c + bt$, c 、 b 为待定系数,其中 b 为倾向值,若 $b > 0$ 表示研究的要素呈上升趋势, $b < 0$ 表示研究的要素呈下降趋势, $b \times 10$ 称为倾向率,单位为:单位/ 10 a。采用相关系数法进行研究的要素变化趋势的显著性检验。本文用最小二乘法来确定 c 、 b 系数。为方便计算,将植物物候日期转换为日序,即距离同年 1 月 1 日的日数(d)。

(2) 累积距平方法

运用累积距平描述植物生长发育期与各气候因子的相关性。累积距平是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法。

2 不同类型草原区植物物候期变化特征

2.1 植物萌芽(返青)期变化特征

1983—2009 年荒漠草原和典型草原区马兰萌芽期和牧草返青期均呈提前趋势,平均每 10 a 提前 3—7 d, 提前趋势较为明显;而草甸草原区马兰萌芽期和牧草返青期呈略推后趋势,约每 10 a 推迟 1—4 d, 这与我国已有的研究成果^[4-10]略有出入。说明不同草原区植物萌芽(返青)阶段对气候变暖的响应不同。内蒙古草原马兰萌芽期平均出现在 4 月上中旬,牧草返青期出现在 3 月底—5 月初,但因各地区气候条件年际间波动大, 萌芽返青期最早出现日与最晚出现日相差 1 月以上(图 1)。

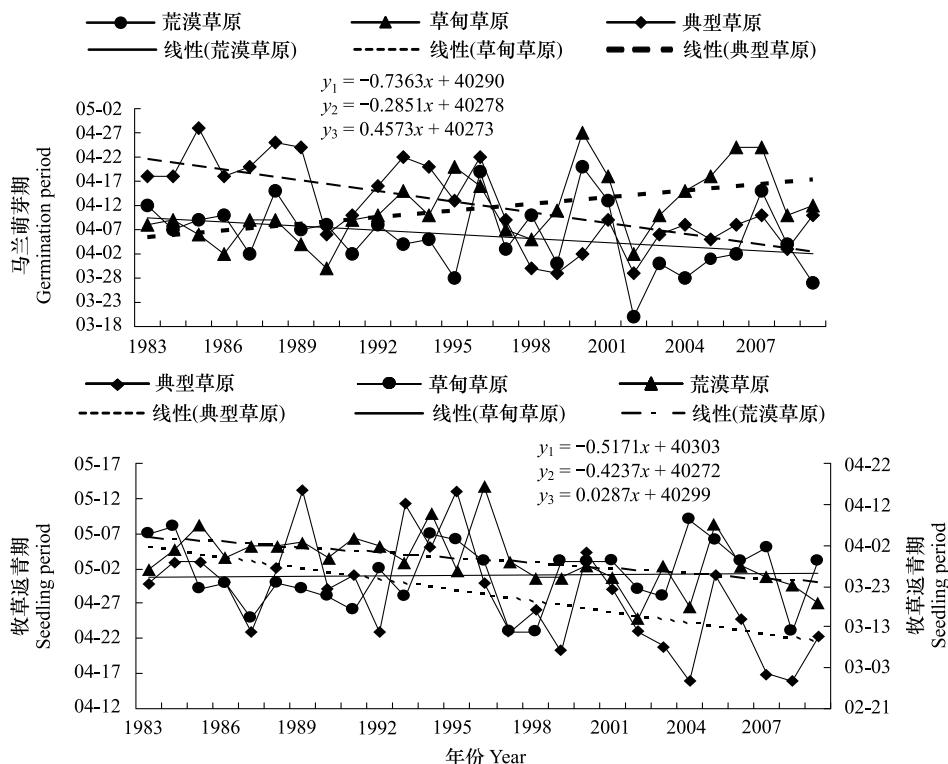


图 1 主要草原区马兰草萌芽期和牧草返青期变化

Fig. 1 Change of the germination period of *Kalimeris indica* (L.) Sch-Bip and the seedling period of grass

y_1 、 y_2 、 y_3 分别代表典型草原、荒漠草原、草甸草原趋势线方程

2.2 植物开花期变化特征

1983—2009 年荒漠草原、典型草原和草甸草原区马兰和牧草开花期均呈提前趋势,平均每 10 a 提前 1—8 d。其中马兰开花提前趋势大于牧草开花期,说明马兰草对气候变暖的响应比牧草敏感。内蒙古草原区马兰平均开花期为 5 月中旬,最早开花期出现在荒漠草原区为 2007 年 4 月 18 日,最晚出现在典型草原区为 1995 年 6 月 3 日,两者相差 1 个多月。即使是同一草原区,最早与最晚开花期相差也在 1 月以上,说明马兰草开花期的年际间波动性较大。不同草场类型其牧草品种不同,荒漠草原霸王开花期平均出现在 4 月下旬,典型草

原和草甸草原贝加尔针茅和羊草平均开花期出现在7月下旬,且各种牧草开花期年际间波动较大(图2)。

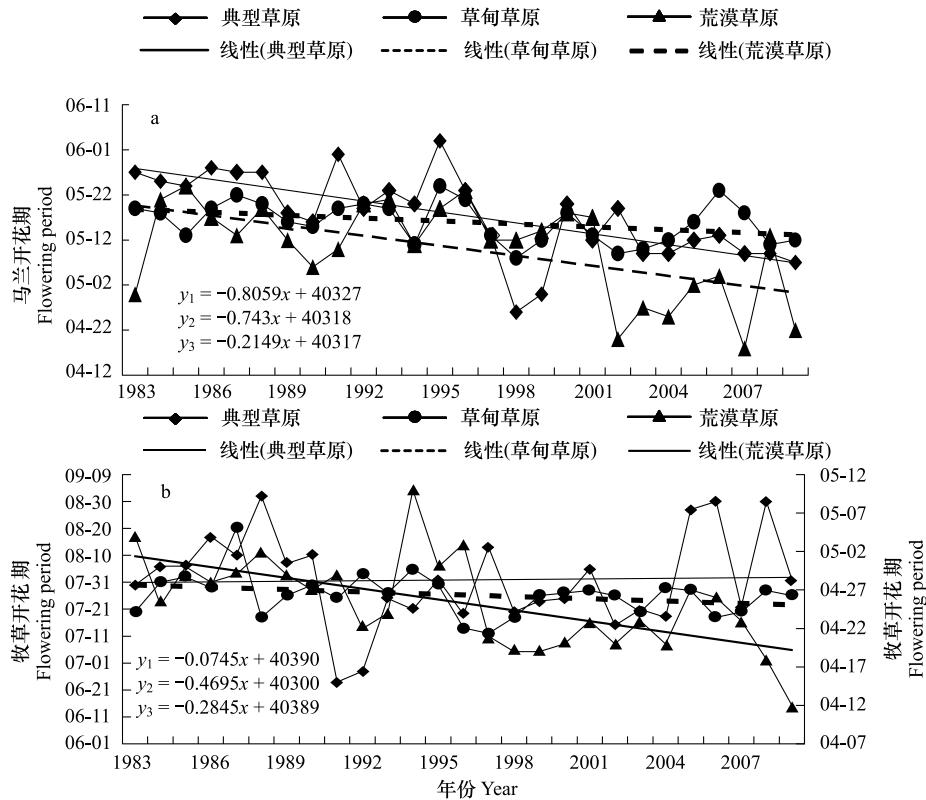


图2 主要草原区马兰草开花期和牧草开花期变化

Fig. 2 Change of the flowering period of *Kalimeris indica* (L.) Sch-Bip and the grass

2.3 植物黄枯期变化特征

气候变暖后内蒙古草原区草本植物马兰及各类牧草的黄枯期呈一致性提前趋势,即提早结束了植物的整个生长过程。从1983—2009年植物黄枯期提前了3—18 d,提前进入黄枯期的进程较为明显。草甸草原和典型草原植物黄枯期平均出现在9月中下旬,荒漠草原出现在9月底—10月份,且最早出现日和最晚出现日波动性较大,平均相差1月之多(图3),说明植物的生长结束期随每年气候条件的变化而变化。

总之,随着气候变暖,内蒙古中西部草原区植物萌芽返青期提前、开花期提前、黄枯期也提前结束,即植物整个生育期缩短,相对对热量、水分等气候条件的需求也随之发生了明显变化;而东部的草甸草原区与此略有差异,说明不同区域对气候变暖的响应不同。

3 气候变化对内蒙古草原区植物物候期的影响

影响植物物候期变化的因子主要有生物因素和环境因素,后者对物候期影响更为显著,其中气温、光照和水分等气候因素是最主要的影响因子^[12]。研究表明,随着近年来气温的升高,植物生长季延长、春季物候期提前、秋季物候期推迟成为一种全球趋势^[13],但不同区域对气候变化的响应不同,内蒙古草原区气候变化对植物物候期的影响及响应的区域特征更为明显。

3.1 气候变化对植物萌芽(返青)期的影响

内蒙古草原区草本植物马兰萌芽期和牧草返青期主要受春季气温的影响,其次为日照时数的影响,降水量对其影响不同草原区差异较大(表1)。春季尤其是3—4月份的累积气温与草本植物马兰萌芽期和牧草返青期负相关程度最高,其中典型草原区相关性最显著,分别达-0.7578和-0.4795;荒漠草原区次之,为-0.5263和-0.4620,草甸草原区相对较小,其相关性为-0.4081和-0.3385,均达到显著性标准。从各类型草原区3—4月累积气温距平和萌芽期累积距平变化趋势来看(图4),两者呈极显著的负相关,相关系数达

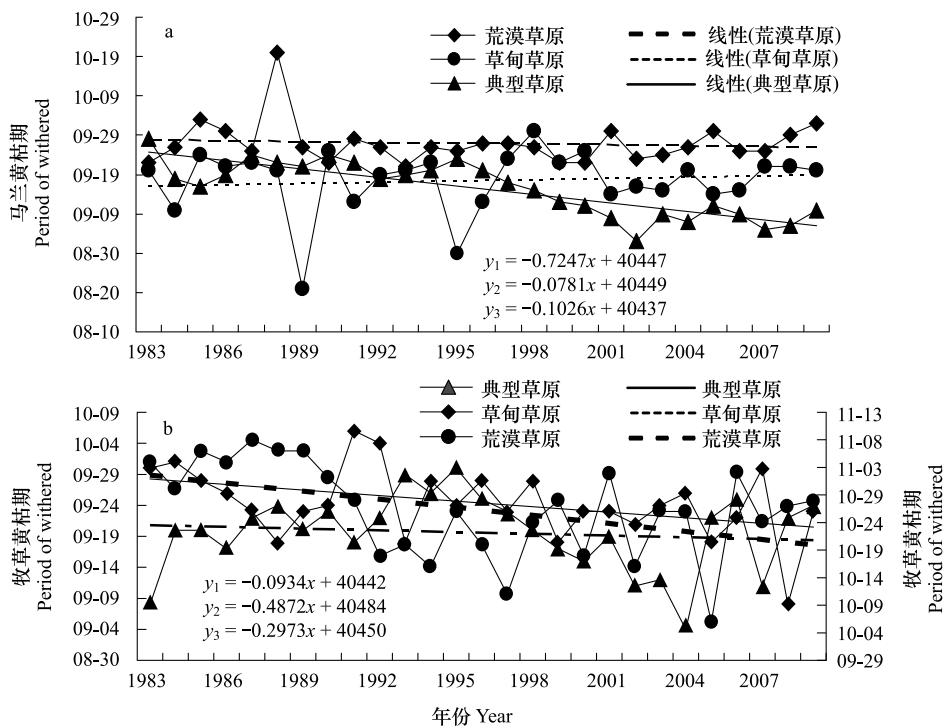


图3 主要草原区马兰草黄枯期和牧草黄枯期变化

Fig. 3 Change of the period of withered and yellow of *Kalimeris indica* (L.) Sch—Bip and the grass

表1 内蒙古各草原区草本植物萌芽返青期与气候要素的相关系数(1983—2009年)

Table 1 The correlation index between the date of the germination and the climatic factors during 1983—2009 in the main grassland in Inner Mongolia

代表物种 Representative species	影响因子及时段 Impact factor	影响因子及时段 Impact factor		
		荒漠草原 The desert grassland	典型草原 The typical grassland	草甸草原 The meadow grassland
马兰 <i>Kalimeris indica</i> (L.) Sch.-Bip	平均气温 3月	-0.4728	-0.7344	-0.2220
	4月	-0.3341	-0.3132	-0.331
	3—4月	-0.5263	-0.7578	-0.4081
	降水量 3月	0.1798*	0.0686*	0.0261*
	4月	-0.1986*	-0.5710	0.1937*
	3—4月	-0.0345*	-0.5171	0.2118*
	日照时数 3月	0.1439*	0.6303	0.0037*
	4月	0.1952*	0.6554	0.3799
	3—4月	0.2062*	0.6965	0.4146
霸王、针茅、羊草 <i>Sarcozygium xanthoxylon</i> Bunge, <i>Stipa baicalensis</i> Roshev., <i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvel	平均气温 3月	-0.3722	-0.2538*	-0.1718*
	4月	-0.1398*	-0.4704	-0.2604
	3—4月	-0.4620	-0.4795	-0.3385
	降水量 3月	0.0269*	-0.3968	0.2024
	4月	-0.2863	-0.3579	0.1632*
	3—4月	-0.3062*	-0.4847	0.2331
	日照时数 3月	0.0185*	0.5089	0.1744*
	4月	0.0743*	0.4116	0.1763*
	3—4月	0.0573*	0.4924	0.2334*

*为未通过0.05可信度检验的不显著因子

-0.9519,并在1996年气温发生突变后,植物萌芽期提前趋势更为明显。同时典型草原区和荒漠草原区3—4月温度升高趋势(增温率 $1.1^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)明显高于草甸草原区(增温率 $0.8^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),这与前面分析的荒漠和典型草原区植物萌芽返青期变化提前趋势明显大于草甸草原区的结论是一致的,说明近50 a 草原区3—4月气温持续升高是导致植物萌芽返青期提前的主要因子。降水对植物萌芽返青期影响较为复杂,3月降水多,内蒙古草原区植物萌芽返青期推迟;4月降水对中西部荒漠草原和典型草原为负相关,对东部的草甸草原为正相关。究其原因,内蒙古草原区3月气温大多在 0°C 以下,降水主要是以雪的形式出现,降雪后地表反照率增大,同时融雪也需要大量的热量,导致地表温度降低,植物萌芽返青期与历年相比推迟。但从4月份开始,荒漠草原和典型草原区气温回升较快,降水过程主要以雨为主,雨水多利于植物提前萌芽返青;而东部草甸草原4月气温仍较低,雨雪天气多,使植物萌芽返青期与中西部相比推迟。内蒙古草原区近50 a 春季降水呈略增加趋势,降水增多导致荒漠和典型草原区植物萌芽返青期提前,草甸草原区植物萌芽返青期推后。日照时数对植物萌芽返青期影响为一致的正相关,即近50 a 内蒙古草原区日照时数的减少,导致植物萌芽和返青期提早。其可能原因为:日照时间短,减少了地表蒸发和热量散失,可能引发植物萌芽返青期的提早。总之,典型草原和荒漠草原区植物萌芽返青期提前是气温升高、降水增加及日照时数减少共同作用的结果;而草甸草原区气温升高和日照时数减少导致植物萌芽返青期提前,但降水的增多又使植物萌芽返青期推后,综合作用导致草甸草原区植物萌芽返青期变化趋势不明显,且略有推后趋势。

3.2 气候变化对植物开花期的影响

内蒙古草原区草本植物马兰开花期与3—5气温呈显著负相关,即温度越高,开花期越早,尤其是气温相对较低的草甸草原区和典型草原区,3—5月累积温度的高低对开花期影响更为显著,其相关性达0.6以上(表2)。近27a 各草原区春季温度呈明显的增温趋势,平均每10 a 增温 0.8°C 以上,增温后使草本植物开花期呈明显的提前趋势。

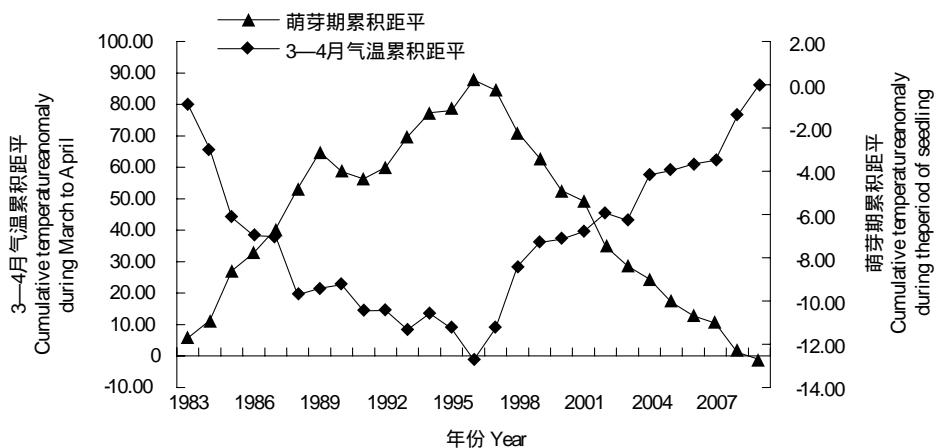


图4 典型草原区3—4月气温累积距平和植物萌芽期气温累积距平变化趋势

Fig. 4 The change trend of cumulative temperature anomaly during March to April and the period of seedling in typical grassland

春季降水量对植物开花期不同草原区其影响不同。荒漠草原和典型草原区为负相关,即降水越多,开花期提前越明显;但草甸草原其降水的影响为正相关,降水多,开花期推迟。究其原因,在草甸草原区,降水相对较多,气温较低,气候比较湿润,马兰草开花所需的水分条件能够得到基本满足,因而春季气温的高低便通过控制融雪和土壤解冻过程,对马兰草开花期的早晚起到关键性的作用。而在中、西部的典型草原和荒漠草原区,降水较少,气温较高,马兰草开花所需的热量条件能够得到基本满足,同时由于植物蒸发与蒸腾作用旺盛,使得可利用的土壤水分较少,因此,春季的降水便成为限制马兰草开花期的主导因子。

日照时数对内蒙古草原植物开花期的影响为一致的正相关。各类型草原区日照充足,春季日照时数均在800 h左右,光照完全能满足植物萌芽开花等各生育进程。但近年来,春季日照时数呈明显的减少趋势,日照

的减少也是导致植物开花期提前的原因之一。

表2 内蒙古各草原区草本植物开花期与气候要素的相关系数(1983—2009年)

Table 2 The correlation index between the date of flowering and the climatic factors during 1983—2009 in the main grassland in Inner Mongolia

代表物种 Representative species	影响因子及时段 Impact Factor		荒漠草原 The Desert grassland	典型草原 The typical grassland	草甸草原 The Meadow grassland
马兰 <i>Kalimeris indica</i>	平均气温	3月	-0.3091	-0.4733	-0.2821
(L.) Sch.-Bip		4月	-0.2040*	-0.6463	-0.7868
		3—5月	-0.4543	-0.7799	-0.6778
	降水量	3月	-0.2421*	-0.1221*	0.0100*
		4月	-0.2364*	-0.4852	0.1064*
		3—5月	-0.2905	-0.4684	0.1088*
	日照时数	3月	0.0036*	0.4531	0.2205*
		4月	0.0618*	0.4247	0.2040*
		3—5月	0.0402*	0.4089	0.2386

*为未通过0.05可信度检验的不显著因子

3.3 气候变化对植物枯黄期的影响

草原区植物黄枯期与气温存在着较好的负相关关系,其中,黄枯期早晚与黄枯前1个月和2个月平均气温的相关系数明显高于与其他时段气温因子的相关系数(表3)。该时段平均气温越高,植物黄枯期越早。温度对植物黄枯期影响的机制可能表现在两个方面:一是由于温度升高,使植物冠层蒸腾和土壤表面蒸发加剧,导致植物因水分亏缺而黄枯期提前;二是植物叶片从开始生长到衰老需要一定的积温,前期气温的升高使

表3 内蒙古各草原区草本植物黄枯期与气候要素的相关系数(1983—2009年)

Table 3 The correlation index between the date of grass withered and yellow and the climatic factors during 1983—2009 in the main grassland in Inner Mongolia

代表物种 Representative species	影响因子及时段 Impact Factor		荒漠草原 The Desert grassland	典型草原 The typical grassland	草甸草原 The Meadow grassland
马兰 <i>Kalimeris indica</i> (L.) Sch.-Bip	平均气温	7—8月	-0.2320*	-0.1658*	-0.1179*
		7—9月	-0.2787*	-0.2210*	-0.1170*
		8—9月	-0.3006	-0.5515	-0.0421*
	降水量	7—8月	0.1975*	0.2271*	0.4132
		7—9月	0.1311*	0.2261*	0.3735
		8—9月	-0.0797*	-0.0342*	-0.4709
	日照时数	7—8月	0.0516*	0.0453*	0.4345
		7—9月	0.1159*	0.1398*	0.4231
		8—9月	0.1632*	0.1002*	0.4661
霸王、针茅、羊草 <i>Sarcozygium xanthoxylon</i> Bunge, <i>Stipa baicalensis</i> Roshev., <i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvel.	平均气温	7—8月	-0.2001*	-0.1659*	0.0173*
		7—9月	-0.1834*	-0.2210*	-0.0327*
		8—9月	-0.1486*	-0.2353*	-0.0005*
	降水量	7—8月	0.0402*	0.3271	0.3026
		7—9月	0.0680*	0.2261*	0.2716
		8—9月	-0.0526*	-0.1342*	-0.2066*
	日照时数	7—8月	0.0853*	0.0453*	0.3434
		7—9月	0.0324*	0.1398*	0.3556
		8—9月	0.0162*	0.1002*	0.2975

*为未通过0.05可信度检验的不显著因子

得植物叶片所需的积温用较短的时间即可满足,从而导致黄枯期的提前。此外,草甸草原区植物黄枯期与8—9月降水量之间的相关系数也通过了显著性检验(相关系数-0.4709),说明8—9月降水增多会加速植物黄枯的速度。线性回归分析表明,植物黄枯日期到来前2个月均温每升高1℃,黄枯日期平均提前0.2d左右。

3.4 气候变化对植物生长期的影响

在气候变暖背景下,不同植物和相同植物在各类型草原区对气候变化的响应不同。荒漠草原区和典型草原区马兰草生长期呈微弱的缩短趋势;草甸草原区缩短趋势较为明显,平均每10a缩短3.5d(图5)。这可能是由于气候变暖后植物生长期期间有效积温积累效率提高,提早达到植物生长的需求,尤其是气温较低的东部草甸草原区。牧草生长期的变化趋势与马兰草不同,随着气候变暖,牧草生长期呈延长趋势,这与其他人前期的研究结果是一致的^[4-14]。典型草原区牧草生长期延长趋势最为明显,平均每10a年延长3.4d;荒漠草原次之,为1.6d;草甸草原牧草生长期延长最少,仅为0.3d(图6)。

同时从图中植物生长期的变化,明显地反映出气候的变化与波动。增温可使植物生长期延长,但对气候变化反应较为敏感的植物如马兰草,由于气候变暖,植物发育生长速率加快,植物成熟过程提早,生长期反而缩短。而牧草对气候变暖的响应较为滞后,变暖后牧草生长期延长,对水分的需求加剧,说明全球变暖对不同植物生长期的影响及程度是不同的。

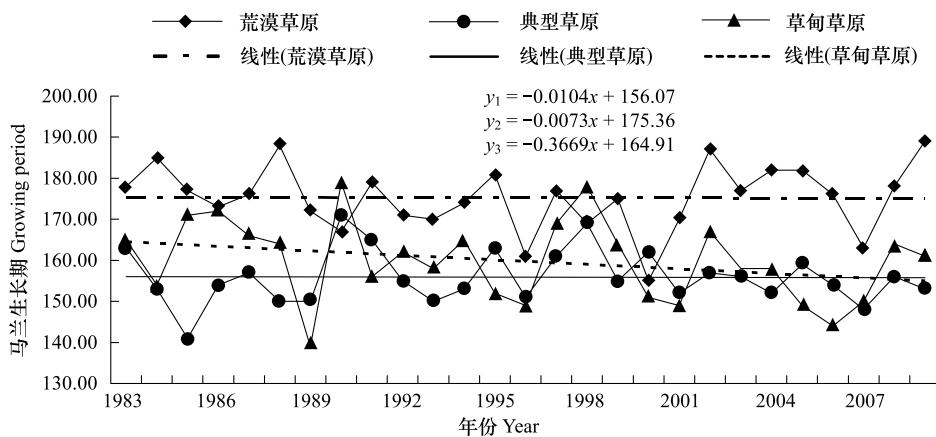


图5 草原区代表植物马兰生长期变化趋势

Fig. 5 The change trend of the growing period of *Kalimeris indica* (L.) Sch-Bip

5 结论与讨论

(1) 1983—2009年内蒙古草原区植物各物候期总体为提前趋势,但地域差异明显。草甸草原区植物马兰萌芽和牧草返青期呈不显著的推迟趋势。说明不同草原区植物物候对气候变暖的区域响应不同。

(2) 内蒙古草原区植物物候期主要受气温的影响,其次为日照时数的影响,降水量对其影响不同草原区差异较大。整个草原区马兰草生长期呈缩短趋势;牧草生长期呈延长趋势,且典型草原区牧草生长期延长趋势最为明显。

(3) 统计分析预估结果表明,到2050年前内蒙古草原区年平均温度和年降水量将呈现增加的趋势,与1980至1999年相比,草原区平均温度增加1.5—2.2℃,降水增加6%。未来草原区气温的升高,将导致内蒙古草原区植物萌芽返青期、开花期和黄枯期提前,植物生长发育过程加快,对水分需求发生相应的变化。未来在降水增加较少,而气温升幅较大的情况下,内蒙古草原区干旱缺水的矛盾仍将较为突出,对草原生态保护和恢复不利。

(4) 综上研究表明,温度和日照是影响植物物候期变化重要的因子,同时,水分成为胁迫因子对物候的影响也十分重要。近27a来,草原区的植物物候呈现出了春季物候提前,秋季物候推迟或略有推迟的特征,从

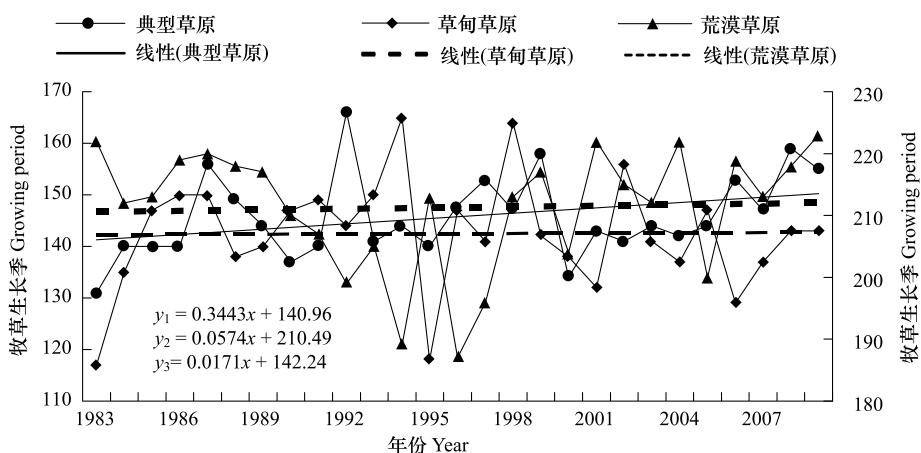


图6 各草原区主要牧草生长期变化趋势

Fig. 6 The change trend of the growing period of main grass in different type grassland

而导致了多数植物生长季节的延长,并成为全球物候变化的趋势。全球气候变暖改变了植物开始和结束生长的日期,其中冬季、春季气温的升高使植物的春季物候提前是植物生长季延长的主要原因。

References:

- [1] Menzel A. Trends in phonological phases in Europe between 1951 and 1996. *Internation Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2):76-81.
- [2] Chmielewski F M, Rötzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural Forest Meteorology*, 2001, 108(2):101-112.
- [3] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J C, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, 416(6879):389-395.
- [4] Zheng J Y, Ge Q S, Hao Z X. Impact of climate warming on plant phenology change for recent 40 years in China. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(20):1582-1587.
- [5] Zhang X X, Ge Q S, Zheng J Y. Relationships between climate change and vegetation in Beijing using remote sensed data and phenological data. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4):499-506.
- [6] Chen X Q, Zhang F C. Spring phonological change in Beijing in the last 50 years and Its response to the climatic changes. *Agricultural Meteorology*, 2001, 22(1):1-5.
- [7] Zheng J Y, Ge Q S g, Zhao H X. Changes of plant phenological period and Its response to climate change for the last 40 years in China. *Chinese Journal of AgroMeteorology*, 2003, 24(1):28-32.
- [8] Fang X Q, Yu W H. Progress in the studies on the phenological responding to global warming. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(5):714-719.
- [9] Xu Y Q, Lu P L, Yu Q. Response of tree phenology to climate change for recent 50 years in Beijing. *Geographical Research*, 2005, 24(3):412-420.
- [10] Zhang F C. Effects of global warming on plant phenological events in China. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(5):402-410.
- [11] Li R P, Zhou G S, Wang Y H, Han X. Phonological responses of *Leymus chinensis* to climate factors. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(3):280-290.
- [12] Mo F, Zhao H, Wang, J Y, Qiang S C, Zhou H, Wang S M, Xiong Y C. The key issues on plant phenology under global change. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(9):2593—2601.
- [13] Xu Y Q, Lu P L, Yu Q. Review and prospect in the researches of influence of climate change on plant phenology. *Resources Science*, 2004, 26(1):129-136.
- [14] Wu R F, Huo Z G o, 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.
- [15] 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.
- [16] Wu R F, Shen J G, Yan W X, Zhang H. Impact of climate warming on phenophase of *Populus tomentosa* in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4):785-790.
- [17] 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.

参考文献：

- [4] 郑景云,葛全胜,郝志新.气候增暖对我国近40年植物物候变化的影响.科学通报,2002,47(20):1582-1587.
- [5] 张学霞,葛全胜,郑景云.北京地区气候变化和植被的关系——基于遥感数据和物候资料的分析.植物生态学报,2004,28(4):499-506.
- [6] 陈效述,张福春.近50年北京春季物候的变化及其对气候变化的响应.中国农业气象,2001,22(1):1-5.
- [7] 郑景云,葛全胜,赵会霞.近40年中国植物物候对气候变化的响应研究.中国农业气象,2003,24(1):28-32.
- [8] 方修琦,余卫红.物候对全球变暖响应的研究综述.地球科学进展,2002,17(5):714-719.
- [9] 徐雨晴,陆佩玲,于强.近50年北京树木物候对气候变化的响应.地理研究,2005,24(3):412-420.
- [10] 张福春.气候变化对中国木本植物物候的可能影响.地理学报,1995,50(5):402-410.
- [11] 李荣平,周广胜,王玉辉,韩喜.羊草物候特征对气候因子的响应.生态学杂志,2006,25(3):277-280.
- [12] 莫非,赵鸿,王建永,强生才,周宏,王绍明,熊友才.全球变化下植物物候研究的关键问题.生态学报,2011,31(9):2593-2601.
- [13] 徐雨晴,陆佩玲,于强.气候变化对植物物候影响的研究进展.资源科学,2004,26(1):129-136.
- [14] 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.
- [15] 陈效述,李倞.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.
- [16] 吴瑞芬,沈建国,闫伟兄,张化.气候变暖对内蒙古地区小白杨物候的影响.应用生态学报,2009,20(4):785-790.
- [17] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 3 February, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Ximming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and themocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in cifferent landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 3 2012

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
行 销 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 许可证 京海工商广字第 8013 号

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

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

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

