

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/stxb201207301082

李夏子, 韩国栋, 郭春燕. 气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响. 生态学报, 2013, 33(13): 4146-4155.

Li X Z, Han G D, Guo C Y. Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4146-4155.

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^{1,2,*}, 韩国栋¹, 郭春燕³

(1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古气象科学研究所, 呼和浩特 010051;

3. 内蒙古气象服务中心, 呼和浩特 010051)

摘要: 研究温性典型草原优势牧草生长季与气候因子变化的关系, 对于监测草地环境变化及保护利用, 评估区域气候变化对优势牧草生长的影响, 指导畜牧业生产等具有重要的科学意义和实践价值。基于内蒙古中部草原 3 个牧业气象试验站 1983—2009 年克氏针茅和羊草的物候期、气象资料, 对返青、黄枯日期、生长季与气温、降水量之间的关系进行了统计分析。结果表明: (1) 27a 间, 该区的年、春季、夏季和秋季平均气温均呈显著升高趋势, 春季升温幅度最大, 气候倾向率为 0.71—0.84℃/10a; 各时段降水量变化除春季呈微量增加趋势外, 总体呈减少态势。可见, 内蒙古中部温性典型草原区暖干化趋势明显。(2) 27a 间, 锡林浩特克氏针茅和羊草返青日期表现为推后趋势, 并与 4 月降水量呈显著正相关; 镶黄旗和察右后旗克氏针茅和羊草返青日期呈提前趋势, 并与 3—5 月气温、降水量呈显著负相关, 气温每升高 1℃、降水量每增加 10mm, 优势牧草返青日期约提前 3.0—5.1d 和 1.3—2.1d。(3) 该区克氏针茅和羊草黄枯日期均呈提前趋势, 与 8—9 月气温均呈显著负相关, 降水量为正相关, 气温每升高 1℃, 克氏针茅黄枯日期提前 1.7—10.7 d, 羊草黄枯日期提前 3.5—11.3d, 降水量的影响相对较弱。(4) 该区克氏针茅生长季延长趋势明显, 羊草生长季缩短趋势明显。克氏针茅生长季与 4—10 月均温正相关系数最大, 羊草生长季与水热系数的正相关系数最大。

关键词: 内蒙古中部; 气候变化; 牧草生长季

Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia

LI Xiazi^{1,2,*}, HAN Guodong¹, GUO Chunyan³

1 College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

2 Meteorological Research Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China

3 Meteorological Science and Technology Service Center of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China

Abstract: To monitor change, protection and utilization of the grassland environment and assess the effect of regional climate change on grass growth, we investigate the relationship between the dominant pasture growing season in typical grassland and the change of climatic factors. Based on phenological observation data during the growth period and meteorological observation data for *Stipa krylovii* Roshev and *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel in Central Inner Mongolia from 1983 to 2009, we analyze the relationship between meteorological elements such as temperature, precipitation and typical plant phenological period using statistical methods. The analysis revealed the following. 1) Average temperature had a significant increasing trend in spring, summer, autumn and the entire year, and the spring trend was 0.71—0.84℃/10 a. Precipitation decreased in all seasons except spring. Climate change had warming and drying trends over the last 27 years in the principal grasslands of Central Inner Mongolia. 2) The green-up stage had a trend toward delay and positive correlation

基金项目: 国家自然科学基金(40865005, 41165005); 国家科技部科技基础性工作专项(2007FY210100)

收稿日期: 2012-07-30; **修订日期:** 2013-04-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lij_xqj@163.com

with precipitation during April for *Stipa krylovii* Roshev and *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel at Xilinhot. However, green-up had a trend toward advance and had negative correlation with temperature and precipitation from March through May for both grass species in Xianghuang Banner and Chahar Right Back Banner. The green-up of dominant pastures advanced 3—5.1 d and 1.3—2.1 d for *Stipa krylovii* Roshev and *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel, respectively. 3) The yellow and withered period had a trend toward advance and negative correlation with temperature between August and September, and positive correlation with precipitation. With a 1°C temperature increase, this period advanced 1.7—10.7 d for *Stipa krylovii* Roshev, and *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel advanced 3.5—11.3 d. 4) The growing period for the aforementioned grass species lengthened, and was significantly positively correlated with average temperature from April through October. The growing period for *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel shortened and was positively correlated with hydrothermal coefficient.

Key Words: central Inner Mongolia; climate change; green-up and wilting date

草原生态系统作为陆地生态系统的重要组成部分,在全球气候变化中扮演着重要角色^[1-2]。研究和了解气候变化对草原生态系统的影响是适应和应对气候变化的重大课题,优势牧草作为草原上的主要植物倍受国内外物候学、气候学专家和学者的青睐,关注的重点是气候变化与植物物候变化之间的相互作用机理、物候期的改变及植物生长季节的延长和缩短等^[3-4]。由于缺乏站点密集、长序列的牧草观测数据,目前国内外对草原优势牧草生育期的变化研究一直很薄弱。国外许多学者研究认为^[5-7],全球性气候变暖改变了植物原有的生态环境,多数植物的整个或某一阶段的生长速度、发育周期等发生了比较明显的改变。Cleland 等^[8]在研究加利福尼亚中部沿海的区域气候变化中发现,气候变暖是草原植物开花与冠层变绿时间提前的关键因子,而降水量增加对草原植物的物候变化未产生一致性的影响;Franks 等^[9]研究了 1 年生草本植物芸苔花期对气候波动的响应,认为干旱引起的生长季节缩短可导致花期的提前。国内对优势牧草生长发育的研究大多集中在北方草原,主要是针对不同尺度整合牧草物候与气候变化的信息来量化植物物候变化对气候条件的响应规律,以及气候变暖对牧草生长季的延长与缩短的描述。研究成果认为西北针茅、早熟禾等禾本科牧草返青、开花、成熟和黄枯期的主要影响因子是热量条件,生长季延长趋势明显^[10-13]。而李荣平等^[14]利用锡林浩特单站资料分析羊草物候与气象因子的关系,结果早春平均温度的升高和秋季日照时数的增加分别使得羊草展叶、黄枯期提前,4—10 月的平均风速则与羊草生长期呈正相关;陈效速等^[15]利用内蒙古草原 7 个牧业气象试验站羊草物候观测数据,从全省区域的角度对返青和黄枯日期与气温和降水量的关系进行了统计分析,得出各站羊草返青期和黄枯期均以显著提前的趋势占优势,多数站点牧草的生长季呈缩短的趋势;张戈丽等^[16]认为内蒙古中部地区热量资源增加显著,导致牧草生长季呈明显延长趋势;顾润源等^[17]通过对内蒙古 3 种草原区典型植物物候的变化研究,得出 3 个草原区植物物候期总体呈提前趋势,春季物候提前,秋季物候推迟或略有推迟的特征。这些研究成果,在空间上侧重大尺度的气候变化对牧草生长发育的影响,忽略了区域或中小尺度气候的不稳定性,以及植物生长发育个体对气候因素的响应规律。鉴于此,本文选择内蒙古中部草原典型草原类型区作为研究的区域,拟就优势牧草生长季对气候变化响应的统计特征进行降尺度(约 10^{-1})的系统分析,这对评估气候变化对内蒙古中部草原优势牧草的影响,指导畜牧业生产,监测草地环境变化及保护利用,探索放牧优化对策,更深层面阐释草原碳库问题等具有重要的科学意义和实践价值。

1 材料与方法

1.1 研究区域与站点选取

研究区域为内蒙古自治区锡林郭勒盟西南大部与之相连的乌兰察布市东北部的温性典型草原类型区^[18],可利用草地资源面积约 $9.25 \times 10^6 \text{ hm}^2$,本区属中温带半干旱大陆性季风气候,年降水量为 200—410mm,主要降水集中在 6—8 月份,年湿润度为 0.25—0.47,7 月平均气温为 18—25°C, $\geq 0^\circ\text{C}$ 的生物学积温为 2350—3400°C · d,优势牧草主要以克氏针茅(*Stipa krylovii* Roshev.)和羊草(*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.)组成,牧草产量在 1100—1600kg/hm²,具有品质好、适口性强等特点。

选取位于内蒙古中部温性典型草原类型区的 3 个牧业气象试验站,即镶黄旗(经度 113°50'E,纬度 42°14'N,海拔 1322.1m)、锡林浩特(经度 116°07'E,纬度 43°57'N,海拔 1003.0m)和察右后旗(经度 113°11'E,纬度 41°27'N,海拔 1424.5m),集中连片,其中前两者均位于锡林郭勒盟,后者位于乌兰察布市。

1.2 数据处理与研究方法

本文根据观测资料代表性好、观测时间长、观测连续性好的原则,选用了镶黄旗、锡林浩特、察右后旗 3 个牧业气象试验站 1983—2009 年逐年的克氏针茅和羊草返青日期和黄枯日期(锡林浩特羊草 1997 年缺失)与逐日平均气温和逐日降水量资料;对应的 3 个生态观测站 2004—2009 年逐年的克氏针茅和羊草返青日期和黄枯日期资料。各牧业气象试验站观测地段面积一般都不小于 10000m²,远离水源、农田和森林、居民区、道路及放牧场等,受人为因素和小气候的影响较小,从地理位置和牧草种类来看都具有很好的代表性。观测场围栏圈固,并实施气象和牧草发育期的平行观测。

对选用的气象资料和牧草发育期资料进行了真伪审查,镶黄旗克氏针茅 2001 年、2006 年,羊草 2001 年返青日期晚于多年平均日期的 1.5 倍标准差,视观测记录异常被剔除;1990、1996、1997、2002、2004、2007 和 2009 年针茅黄枯日期均早于多年平均日期的 1.5 倍标准差被剔除。察哈尔右翼后旗 1989 年克氏针茅返青日期记录同样原因被剔除。为了分析的准确性,需要延长资料序列的长度,因此,对镶黄旗克氏针茅 2004—2009 年剔除的牧草发育期资料用对应的审查后的生态观测资料代替,使得资料样本数达 23a。

牧草生育期日期均采用日序(Day of the Year,简称 DOY)换算方法^[19],即为一年中的天数,本文计算是指牧草各个发育期日期距离当年 1 月 1 日的日数。统计方法用一次线性方程来定量描述牧草返青、黄枯期日期及水、热气象因子的自回归变化趋势,即以年代为时间因子,计算各站点年均气温、年降水量、牧草返青期和黄枯期日期、生长季长度的线性趋势;其次,将发育期与所分析时段的平均温度、降水量和水热系数进行相关、回归分析。为统一计算精度,本文所有统计分析运用 SPSS13.0 完成。

2 结果分析

2.1 气温和降水的变化

分析图 1 和表 1 可知:各站点的年、春季、夏季和秋季平均气温在 27a 间均呈显著升高趋势($P<0.01$ 或 $P<0.05$),20 世纪 90 年代中期开始升温幅度较大,年、6—8 月牧草生长旺季、9—10 月牧草成熟期升温幅度大小排序均为察右后旗>镶黄旗>锡林浩特,气候倾向率在 0.62—0.75℃/10a 之间;3—5 月牧草返青期升温幅度大小排序为察右后旗>锡林浩特>镶黄旗,气候倾向率在 0.71—0.84℃/10a 之间,且对年平均气温升温的贡献率最大。

察右后旗 3—5 月、6—8 月降水量变化达到显著水平($P<0.05$ 、 $P<0.01$),3—5 月降水量变化呈微弱增加的态势,6—8 月降水量变化呈减少趋势,气候倾向率分别为 10.4 mm/10a 和 -33.4 mm/10a;各站点其他时段降水量变化均未达到显著水平,但 3—5 月降水量表现为少量增加趋势,牧草生长旺季 6—8 月和年降水总量变化呈减少趋势且减少幅度较大。

表 1 牧草生长季各时段平均气温和降水量的变化(1983—2009 年)

Table 1 Inter-annual change trends of mean growing seasonal air temperature and precipitation at each climate station (1983—2009)

气象要素 Meteorological Elements	镶黄旗 Xianghuangqi		锡林浩特 Xilinhaote		察右后旗 Chayouhouqi	
	K	R	K	R	K	R
T_{3-5}	0.071	0.535 **	0.082	0.551 **	0.084	0.651 **
T_{6-8}	0.068	0.549 **	0.064	0.445 *	0.075	0.635 **
T_{9-10}	0.075	0.482 *	0.072	0.492 **	0.077	0.516 **
R_{3-5}	0.508	0.183	0.475	0.176	1.036	0.536 **
R_{6-8}	-2.216	-0.333	-2.007	-0.221	-3.344	-0.400
R_{9-10}	-0.154	0.045	-0.680	-0.247	0.623	0.184

* $P<0.05$; ** $P<0.01$; T_{3-5} 、 T_{6-8} 、 T_{9-10} 和 R_{3-5} 、 R_{6-8} 、 R_{9-10} 分别表示春、夏、秋季平均气温和降水量;K 为斜率,R 为相关系数

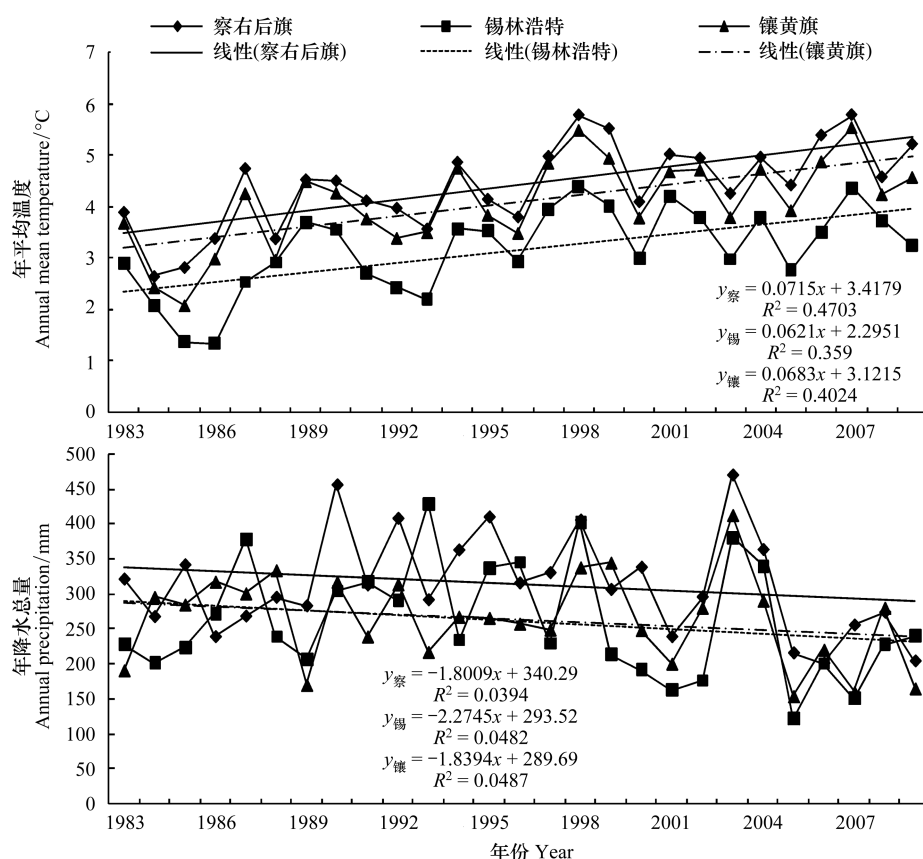


图1 研究区年平均气温和降水量的变化(1983—2009年)

Fig. 1 Inter-annual change trends of mean annual air temperature and precipitation at each climate station(1983—2009)

2.2 优势牧草返青与黄枯期及生长季长度趋势变化

研究区1983—2009年克氏针茅和羊草平均返青日期大致呈从南至北逐渐提前的空间变化特征。分析图2和图3明显看到,在镶黄旗和察右后旗,克氏针茅返青日期均呈不同程度的提前趋势,平均每年均提前0.5d ($P < 0.05$, $P < 0.01$);在锡林浩特,克氏针茅返青表现为显著推后趋势,平均每年推后0.6d ($P < 0.01$)。羊草返青日期在各站点表现与克氏针茅相同,其中,羊草的返青日期只在锡林浩特表现出延后趋势,但未达到显著水平。而在镶黄旗和察右后旗,羊草返青日期呈提前趋势,察右后旗羊草返青日期平均每年提前0.7d ($P < 0.01$)。

表2 研究区牧草生长季长度的线性趋势及其显著性水平(1983—2009年)

Table 2 Linear trends and their significance levels of growing season length of dominant grass species at three stations(1983—2009)

时段 Time interval	牧草 Pasture	镶黄旗		锡林浩特		察右后旗	
		K	R	K	R	K	R
平均生长季长度/d	克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i>	0.116	0.032	-0.607	-0.283	0.477	0.581 **
Mean growing season length	羊草 <i>Leymus chinensis</i>	-0.648	-0.303	-0.322	-0.195	0.346	0.370 *

研究区1983—2009年克氏针茅和羊草平均黄枯日期没有明显的纬向变化特征,镶黄旗最早开始黄枯,而锡林浩特进入黄枯期最晚,表明牧草进入黄枯期的空间变化较为复杂,也可能与牧草自身的生理特性及适应生长的环境因子有关。分析图2和图3明显看到,3个站点克氏针茅的黄枯期均呈提前的趋势,但均未达到显著水平。羊草的黄枯日期变化趋势与克氏针茅相同,均呈提前的趋势,在镶黄旗和察右后旗,黄枯日期平均每年分别提前1.3d和0.4d ($P < 0.001$, $P < 0.05$),而在锡林浩特羊草黄枯日期虽然有极微弱的提前趋势,但未

达到显著水平。

分析表 2 可知,察右后旗和镶黄旗克氏针茅生长季均呈延长趋势,察右后旗克氏针茅生长季平均每年延长 0.5d ($P < 0.01$),而锡林浩特克氏针茅生长季变化呈缩短趋势,但未达到显著水平。可见,在研究区内克氏针茅生长季延长趋势明显。在镶黄旗和锡林浩特羊草生长季变化以缩短为主,但未达到显著水平;察右后旗羊草生长季变化呈延长趋势,平均每年延长 0.3d ($P < 0.05$)。

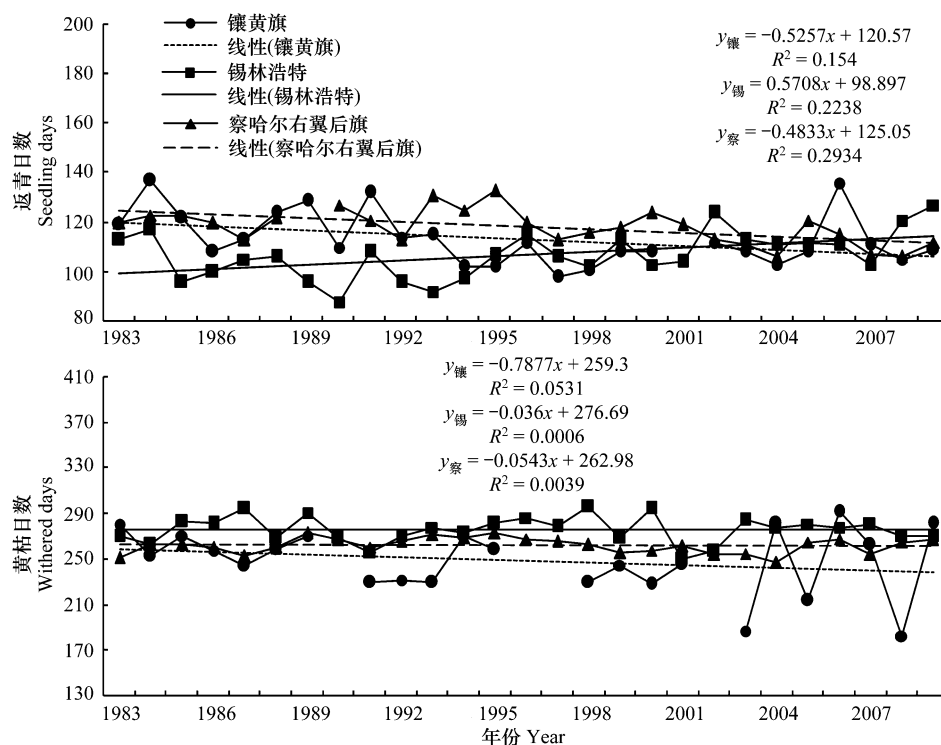


图 2 克氏针茅返青日期和黄枯日期变化(1983—2009 年)

Fig. 2 Change of the seedling and withered period of *Stipa krylovii* (1983—2009)

2.3 气候变化对内蒙古中部草原优势牧草返青期的影响

研究区优势牧草返青开始期多集中在 4—5 月份,经分析返青早晚主要受春季气温和降水量的影响,统计各站点 3 月、4 月、5 月、3—5 月、3—4 月和 3—5 月气温和降水量因子与羊草和克氏针茅返青日期的相关关系,包括相关系数和模拟方程斜率(表 3,通过信度检验的气候因子)。分析相关系数发现牧草返青日期与气温因子均为负相关,降水量因子以负相关为主,说明研究区优势牧草返青早晚主要受气温高低控制,其次受降水量控制,但受局地小气候等影响牧草返青早晚的关键气候因子存在交替变化的特征。

镶黄旗克氏针茅返青日期与 3—4 月、3—5 月气温呈显著负相关 ($P < 0.05$),与各时段降水量因子相关系数均未通过信度检验,说明气温高低决定了克氏针茅返青日期的早晚。镶黄旗 3—5 月气温与克氏针茅返青日期相关系数最大,回归分析结果:气温每升高 1°C ,克氏针茅返青日期提前 3.6d,前述分析(表 1)结论已表明镶黄旗春季气温呈增大趋势,由此可以印证克氏针茅返青期受春季气候变暖影响显著。察右后旗克氏针茅返青日期与 3—4 月、3—5 月气温和降水量呈显著负相关 ($P < 0.01$, $P < 0.05$),与其他气象因子相关性均未通过信度检验,说明 3—5 月气温升高和 3—4 月降水量增加有利于克氏针茅返青提前,回归分析结果:3—5 月气温每升高 1°C ,克氏针茅返青日期提前 4.0d,3—4 月降水量每增加 10mm,克氏针茅返青日期提前 1.7d。锡林浩特克氏针茅返青早晚主要受 4 月降水量的限制,并呈正相关 ($P < 0.05$),与其他时段气象因子相关性均未通过信度检验,说明在锡林浩特克氏针茅返青早晚对气象因子的响应敏感性较差。

镶黄旗和察右后旗羊草返青日期与 3—5 月气温和降水量均呈极显著和显著负相关(表 3),表明羊草返青日期受气温和降水量变化的共同影响,气温越高、降水量越多,羊草返青越早。3—5 月气温与羊草返青日

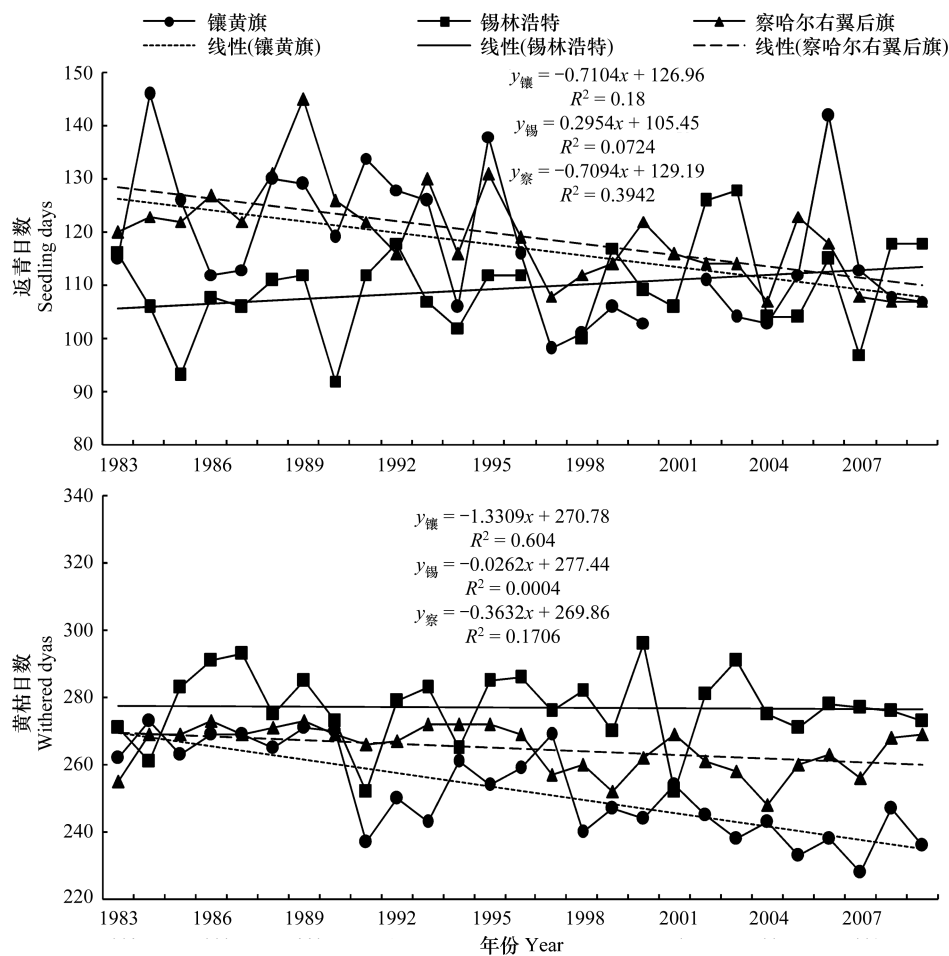


图3 羊草返青和黄枯期变化(1983—2009年)

Fig. 3 Change of the seedling and withered period of *Leymus chinensis* (1983—2007)

期相关系数最大,说明与降水量相比气温是羊草返青早晚的关键因子,回归分析结果,镶黄旗和察哈尔右翼后旗3—5月气温每升高1℃,羊草返青日期分别提前3.0 d、5.1 d。而锡林浩特羊草返青与4月降水量呈显著正相关关系,但回归分析斜率较小。

表3 牧草返青日期与气象因子的相关关系(1983—2009年)

Table 3 The correlation index between the date of the germination and the climate factors at three stations during (1983—2009)

优势牧草 Dominant grass species	影响因子 Impact factors	镶黄旗		锡林浩特		察右后旗	
		K	R	K	R	K	R
克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i>	T_{3-4}	-4.22	-0.447 *			-4.12	-0.527 **
	T_{3-5}	-3.63	-0.485 *			-3.96	-0.575 **
	R_{3-4}					-0.17	-0.473 *
	R_{3-5}					-0.21	-0.420 *
	R_4			0.05	0.445 *		
羊草 <i>Leymus chinensi</i>	T_{3-4}					-5.09	-0.580 **
	T_{3-5}	-2.98	-0.657 **				
	R_{3-4}						
	R_{3-5}	-0.32	-0.423 *				
	R_4			0.06	0.442 *	-0.13	-0.404 *

2.4 气候变化对内蒙古中部草原优势牧草黄枯期的影响

研究区优势牧草黄枯多在 8—10 月,以 9 月居多。经分析牧草黄枯早晚主要受夏末秋初的气温和降水量的影响,统计各站点 8—10 月各月、8—9 月和 9—10 月平均气温、降水量因子与羊草和克氏针茅黄枯日期的相关关系(表 4)表明,牧草黄枯日期与气温因子均为负相关,降水量因子均为正相关,说明研究区优势牧草黄枯日期早晚主要受气温和降水量控制,气温越高、降水量越少,牧草黄枯日期越早。

镶黄旗克氏针茅黄枯日期与 9 月、8—9 月和 9—10 月平均气温呈显著负相关,与 8—9 月降水量呈正相关($P<0.01$),与其他气温和降水量因子的相关性很小。对克氏针茅黄枯日期与 8—9 月平均气温和降水量回归分析表明,气温每升高 1°C 、降水量减少 10mm,克氏针茅黄枯日期分别提前 10.7 d 和 12.2 d。锡林浩特克氏针茅黄枯日期与气象因子的相关程度较小,仅与 8 月气温(负相关)和降水量(正相关)相关系数达到显著水平。察哈尔右翼后旗克氏针茅黄枯日期与气象因子的相关程度更小,通过信度检验的因子只有 8—9 月平均气温。

羊草黄枯日期与夏末初秋的气温和降水量相关关系密切(表 4),且对气温升高的响应较降水量减少的响应敏感。3 个站点羊草黄枯日期与 8—9 月平均气温相关系数较大,说明 8—9 月平均气温是影响该区羊草黄枯日期早晚的关键因子。回归分析可知,8—9 月平均气温升高 1°C ,镶黄旗、锡林浩特和察右后旗羊草黄枯日期分别提前 11.3d、4.1d 和 3.5d。

表 4 牧草黄枯日期与气象因子的相关关系(1983—2009 年)

Table 4 The correlation index between the date of the grass withered and the climate factors at three stations during (1983—2009 年)							
优势牧草 Dominant grass species	影响因子 Impact factors	镶黄旗		锡林浩特		察右后旗	
		<i>K</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>K</i>	<i>R</i>
克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i>	T_{8-9}	-10.68	-0.821 **			-1.71	-0.417 *
	T_{9-10}	-9.97	-0.543 **				
	T_8			-0.69	-0.407 *		
	T_9	-6.34	-0.730 **				
	R_{8-9}	1.22	0.620 **				
	R_8			0.08	0.384 *		
羊草 <i>Leymus chinensi</i>	T_{8-9}	-11.28	-0.836 **	-4.24	-0.394 *	-3.49	-0.503 **
	T_{9-10}	-0.24	-0.389 *				
	T_8			-4.06	-0.490 *		
	T_9	-0.594	-0.645 **				
	R_{8-9}	0.29	0.678 **	0.09	0.415 *		

2.5 气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响

牧草生长季延长或缩短对气候变化的响应不仅仅取决于返青与黄枯日期的变化,还取决于牧草其他发育日期的变化。因此,选取研究区域牧草生长季 4—10 月平均气温、降水量及水热系数(高于 5°C 时期中的降雨量之和与同时期累积气温之比)因子,与优势牧草生长季日数做相关分析(表 5),结果表明,不同站点影响羊草和克氏针茅生长季的主要气象因子并不一致,且相关系数均较小。

在察右后旗、镶黄旗,克氏针茅生长季与同期气温、降水量和水热系数的相关程度从高到低排序为气温、水热系数、降水量,并与气温呈显著正相关($P<0.10$)。可见,在此区克氏针茅生长季主要受气温高低的控制,随着气温增高而延长,实际上,1990 年以来两地气温增高趋势明显,导致克氏针茅生长季持续延长,这与本文上述得出的结果一致,而水热系数和降水量对其影响相对较小。在锡林浩特,克氏针茅生长季主要受水热条件匹配好坏的控制,随着水热系数增大而延长,实际上,2000 年以来两地水热系数减少趋势明显,导致克氏针茅生长季持续缩短。

在镶黄旗、锡林浩特,羊草生长季与水热系数的正相关系数最大,可见,在此区羊草生长季随着水热系数

增大而延长,实际上,2000 年以来两地水热系数减少趋势明显,导致羊草生长季持续缩短,而气温、降水量对其影响相对较小。此外,在察右后旗,羊草生长季与气温、降水量和水热系数的相关程度均很低。

表 5 牧草生长季与气象因子相关系数

Table 5 Forage growing season and meteorological factor correlation coefficient

优势牧草 Dominant grass species	影响因子 Impact factors	镶黄旗	锡林浩特	察右后旗
羊草 <i>Leymus chinensi</i>	T_{4-10}	-0.084	-0.143	0.254
	R_{4-10}	0.307 *	0.247	-0.131
	$C_{R/T}$	0.330 **	0.250	-0.162
克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i>	T_{4-10}	0.350 *	-0.125	0.360 *
	R_{4-10}	-0.306 *	0.343 *	-0.200
	$C_{R/T}$	-0.337 **	0.349 *	-0.240

T_{4-10} 、 R_{4-10} 、 $C_{R/T}$ 分别表示 4—10 月平均气温、降水量和水热系数;其他表注同表 1

3 讨论

(1) 内蒙古中部温性典型草原区呈现暖干化的趋势。气温升高和降水量减少的事实,构成了研究区牧草生长发育的基本水热条件及牧草物候期变化的背景。一方面,优势牧草返青日期早晚主要受气温高低和降水量多少影响,气温变化影响优势牧草返青日期提前的强度大于降水量的影响强度,降水量的影响比较复杂,负相关关系占的比例较大,对优势牧草返青日期影响较弱。优势牧草黄枯日期提前主要受夏末秋初(8—9 月)气温升高和降水量减少影响显著,与气温相比,降水量的影响相对较弱。表明气候暖干化趋势是导致牧草黄枯期提前的主要原因,具体反映在降水量较少的地区,高温、少雨的气候条件使得牧草近冠层和土壤水分散失加剧,优势牧草生长期同时发生了生理干旱和土壤干旱,从而导致优势牧草的黄枯日期提前。另一方面,由于羊草和克氏针茅相同的生物学特性为抗寒、抗旱和不耐涝,所以,个体发育进程对气象因子变化的响应基本相同,一般而言,随着各地春季气温升高趋势加剧,有利于优势牧草提前返青,而夏、秋季的气温升高趋势加剧,对优势牧草黄枯日期推后均有促进作用,表明气候变暖是导致牧草返青日期提前和黄枯期推迟的主要原因;夏季和秋季增温对优势牧草生长季有延长的效应,但气温高于牧草生长所需的适宜气温指标时,可加速优势牧草的生长进程,反而使牧草生长季缩短。

综合上述两个方面,在内蒙古中部草原区气候变化和气候变暖对优势牧草生长季和牧草物候期的影响机理比较复杂。在一个气候区域中的不同小单元内,同一种牧草返青和黄枯早晚对气候因子的响应存在差异,造成这种差异的原因是地形、土壤类型及其肥力等非气候因素不同所致;同一个单元不同牧草返青和黄枯早晚差异是牧草本身的生物学特性决定的;牧草所在小生境不同,各发育期对气候变化的响应也各不相同,导致牧草生长季长短的关键气候因子并不十分明确,但区域气候暖干化对牧草生长季的影响是不容忽视的。

(2) 在气候变暖的背景下,分析内蒙古中部草原优势牧草生长季的变化情况,并与大尺度同类研究成果相比^[15,17],发现研究区春、夏和秋季气温升高趋势加剧,对不同地区不同牧草返青日期提前和黄枯日期推迟的幅度不同,使原本推迟的推迟更多,提前的速度趋缓;从牧草种类对气温的反映看克氏针茅最敏感,羊草次之;从地域分布看优势牧草黄枯日期推迟最多的地区是锡林浩特。夏季和秋季增温对不同地区牧草生长季的影响及程度是不同的。一般是海拔较高、纬度偏北的地区牧草生长季延长,而海拔较低的地区由于气候变暖,气温太高,使牧草发育生长速率加快,牧草成熟过程也加快,生长季反而缩短;另一方面,气温大幅度升高,牧草生长发育对水分的需求加剧,而研究区域西南部气候暖干化特征相当明显,加快了牧草成熟的进程,很好地解释了该区牧草生长季缩短的又一原因。

(3) 由于本文研究区域太大,而具有长年代的牧草物候期观测资料的站点只有 3 个,所以采用了空间降尺度理论中的最简单统计方法,用 3 个气象站的资料代表温性典型草原区域(约为整个区域的 10^{-1})分析了气候变化特征,并研究牧草物候期对气象因子变化的响应,最后采用定性的方法做综合分析。从本文分析结

果看,达到了预期目标,但是还有不足之处,因为气候变化对牧草物候期的影响机理比较复杂,牧草生长季节的长度及变化与气候变化关系密切^[4],且存在着明显的区域特征,关联气候因子不仅是气温和降水的变化,更涉及综合气候条件及其变化,加之牧草所在的小生境条件不同,各发育期对气候变化的响应也各不相同,土壤水分、土壤肥力及极端气候事件如高温、干旱缺水、低温冻害等对牧草生长季变化控制与气候暖干化的影响同等重要。因此,加密牧业气象试验站建设与加强牧草物候对极端气候响应的机制研究同样重要,这对防御极端气候事件给畜牧业生产造成的严重损失具有重大的指导意义。

(4) 本文从气候变化的角度研究气候因子与植物物候的关系,而没有从植物物候学的角度研究植物生理与植物物候的关系,在研究方法上是将植物的生理过程假想为一个暗箱,看成是静态的,而直接对环境因子与植物的物候关系进行研究。因此,有些结论存在一定的局限性。要想深入研究,就必须加强对不同环境下同种植物的物候观测,同时监测其生理指标,探讨植物物候与植物生理的关系^[4,20],确定对植物物候起决定作用的因子;基于长年代的植物物候资料,建立植物物候模型,通过调整参数,确定能够代表植物物候变化的生理指标,进而分析植物种间差异和植物物候生理机制,这将是今后一段时期深入研究的重要课题。

4 结论

(1) 1983—2009 年内蒙古中部草原区各站点的年、春季、夏季和秋季平均气温均呈显著升高趋势,20 世纪 90 年代中期开始升温幅度较大。各站点、各时段降水量除察右后旗 3—5 月、6—8 月达到显著水平外,其他站点和时段降水量虽未达到显著水平,但除 3—5 月外均以减少趋势为主,年和牧草生长旺季 6—8 月降水总量呈减少趋势且减少幅度较大。可见,研究区呈现气温逐渐升高和降水量逐渐减少的暖干化趋势。

(2) 研究区 1983—2009 年克氏针茅和羊草平均返青日期提前趋势较明显,只在锡林浩特部分地区表现出延后趋势;优势牧草黄枯日期均呈提前趋势,但 3 个站点克氏针茅、锡林浩特羊草的黄枯日期均呈不显著的提前趋势;在研究区内克氏针茅生长季延长趋势明显,只在锡林浩特克氏针茅生长季变化呈不显著缩短趋势,羊草生长季缩短趋势明显,察右后旗羊草生长季变化呈显著延长趋势。

(3) 研究区域优势牧草返青日期早晚主要受春季 3—5 月气温高低和降水量多少影响,气温变化影响优势牧草返青日期提前的强度大于降水量的影响强度,降水量对优势牧草返青日期影响较弱。气候暖干化趋势是导致牧草黄枯期提前的主要原因,夏末秋初 8—9 月气温升高和降水量减少影响显著,与气温相比,降水量的影响相对较弱。在察右后旗、镶黄旗,导致克氏针茅生长季延长的关键气候因子是持续升高的 4—10 月平均气温,在锡林浩特,克氏针茅生长季缩短主要因水热系数减少明显而致。在镶黄旗、锡林浩特,导致羊草生长季持续缩短的主要原因是 2000 年以来两地水热系数减小所致,在察右后旗,羊草生长季与气温、降水量和水热系数的相关程度均很低,主要控制因子较模糊。

References:

- [1] Yin Y T, Hou X Y, Yun X J. Advances in the climate change influencing grassland ecosystems in Inner Mongolia. *Pratacultural Science*, 2011, 28 (6): 1332-1339.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Wang L X, Chen H L, Li Q, Yu W D. Research advances in plant phenology and climate. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (2): 0447-0454.
- [5] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*, 1999, 397: 659.
- [6] Piao S L, Fang J Y, Zhou L M. Variation in satellite-derived phenology in China's temperate vegetation. *Global Change Biology*, 2006, 12: 672-685.
- [7] Spards T H, Carey P D. 1995. The responses of species to climate over two centuries: An analysis of the Marsham phonological record, 1736—1947. *Journal of Ecology*, 83: 321-329.
- [8] 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: 13740-13744.
- [9] Franks S J, Sim S, Weis A E. Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104: 1278-1282.
- [10] Zhu B W, Yan D X, Xie Q Y, Zhang S K. The effects of the climate change in the Qinghai Lake region on the growth and yield of *Stipa krylovii*. Pratacultural Scinece, 2011, 28(7): 1357-1363.
- [11] Wang J B, Wang Z G, Yang W J. The relationship analysis between the meteorological factors and the withering period of gramineous herbage at the Hezuo-Maqu meadow. Pratacultural Science, 2010, 27(10): 104-109.
- [12] Guo L Y, Zhao N W, Tian H C. Impacts of climatic warming on reproductive stages of forages growing in alpine grassland of the Three River Sources Areas. Pratacultural Scinece, 2011, 28(4): 618-625.
- [13] Kang X F, Fu Y, Yan L D, Li X L. The relationship between plant communities of meadow grassland and climatic factors around north Qinghai Lake. Pratacultural Scinece, 2010, 27(10): 1-9.
- [14] Li R P, Zhou G S, Wang Y H, Han X. Phenological responses of *Leymus chinensis* to climate factors. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(3): 277-280.
- [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] Zhang G L, Tao J, Dong J W, Xu X L. Spatiotemporal Variations in Thermal Growing Seasons Due to Climate Change in Eastern Inner Mongolia during the Period 1960—2010. Resources Science, 2011, 33(12): 2323-2332.
- [17] 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.
- [18] Liu H, Guo W L, Quan W J. Climatic Division of the Types and Yields of Grassland in Linner Mongolia. Journal of Applied Meteorological Science, 2011, 22(3): 329-335.
- [19] Zhu K Z, Wan M W. Phenology. Beijiog: Scienec Press, 1980.
- [20] Li R P, Zhou G S, Zhang H L. Research advances in plant phenology. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(3): 541-544.

参考文献:

- [1] 尹燕亭, 侯向阳, 运向军. 气候变化对内蒙古草原生态系统影响的研究进展. 草业科学, 2011, 28(6): 1332-1339.
- [2] 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, 2012, 17(5): 714-719.
- [3] 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.
- [4] 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): 0447-0454.
- [10] 朱宝文, 严德行, 谢启玉, 张盛魁. 青海湖地区气候变化对西北针茅生长发育和产量的影响. 草业科学, 2011, 28(7): 1357-1363.
- [11] 王建兵, 汪治桂, 杨文杰. 合作、玛曲草甸禾本科牧草黄枯与气象因子的关系分析. 草业科学, 2010, 27(10): 104-109.
- [12] 郭连云, 赵年武, 田辉春. 气候变暖对三江源区高寒草地牧草生育期的影响. 草业科学, 2011, 28(4): 618-625.
- [13] 康晓甫, 伏洋, 颜亮东, 李希来. 环青海湖北岸草甸化草原植物群落与气候因子的关系. 草业科学, 2010, 27(10): 1-9.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 张戈丽, 陶健, 董金玮, 徐兴良. 1960—2010 年内蒙古东部地区生长季变化分析. 资源科学, 2011, 33(12): 2323-2332.
- [17] 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.
- [18] 刘洪, 郭文利, 权维俊. 内蒙古草地类型与生物量气候区划. 应用气象学报, 2011, 22(3): 329-335.
- [19] 竺可桢, 宛敏渭. 物候学. 北京: 科学出版社, 1980.
- [20] 李荣平, 周广胜, 张慧玲. 植物物候研究进展. 应用生态学报, 2006, 17(3): 541-544.

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