

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

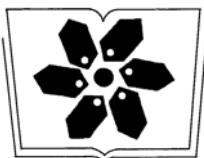
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第7期 Vol.34 No.7 **2014**

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 34 卷 第 7 期

2014 年 4 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 何奕忻, 吴宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 黄翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 李宁, 王征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 刘璐, 闫浩, 李诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 犹昌艳, 杨宇, 胡飞, 等 (1716)

种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 林柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 李凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 蒋敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 周宏, 张恒嘉, 莫非, 等 (1757)

景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 林炳青, 陈兴伟, 陈莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 徐维新, 辛元春, 张娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 王超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 王博雯, 汤祥明, 高光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 吴浩, 李岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 靳翔, 徐庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例.....

..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

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/stxb201303270531

徐维新, 辛元春, 张娟, 校瑞香, 王晓明. 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征. 生态学报, 2014, 34(7): 1781-1793.

Xu W X, Xin Y C, Zhang J, Xiao R X, Wang X M. Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1781-1793.

近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征

徐维新^{1,2,*}, 辛元春^{1,3}, 张娟², 校瑞香², 王晓明²

(1. 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610072; 2. 青海省气象科学研究所, 西宁 810001;

3. 青海省贵德县气象局, 贵德 811700)

摘要: 利用 1988—2010 年青藏高原东北部地区 5 个站点牧草生育期地面观测数据, 分析了近 20 年代表性牧草返青、开花、黄枯期及生长季的变化趋势, 并通过偏相关分析探讨了气温和降水对牧草生育期的关系。结果表明, 近 20 年青藏高原东北部牧草生育期北部推迟南部提前的特征明显。南部的三江源区域返青、开花与黄枯期总体呈显著提前趋势, 其中曲麻莱羊茅返青期提前的倾向率达到 -4 d/10 a, 开花期为 -13 d/10 a, 黄枯期达到 -9 d/10 a, 且均通过 0.01 的显著性检验水平。北部环青海湖区域的海北西北针茅生育期则表现出一定的推迟趋势。生长季长度北部地区延长, 而南部除甘德(垂穗披碱草)外均呈明显缩短趋势。近 20 a 黄枯期的变化幅度明显大于返青期, 使得生长季长度的变化更多地受黄枯期变化的影响。1 月和 3 月气温是影响研究区牧草返青最主要的气候因子, 气温增高返青提前。开花期南北差异明显, 北部与同期气温呈明显负相关关系, 南部则主要与开花前 2—3 个月的降水量密切相关, 降水增多大部地区开花期提前。此外, 降水也是各地牧草黄枯的主要影响因子。

关键词: 物候; 禾本科牧草; 青藏高原; 气候变化

Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years

XU Weixin^{1,2,*}, XIN Yuanchun^{1,3}, ZHANG Juan², XIAO Ruixiang², WANG Xiaoming²

1 Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610072, China

2 Meteorological Institute of Qinghai Province, Xining 810001, China

3 Meteorological Bureau of Guide County, Guide 811700, China

Abstract: The Qinghai-Tibet Plateau (QTP) is usually regarded as an ideal place to study the response of natural ecosystems to climate change because this mountainous region supports one of the most fragile environments within the global ecosystem. After the QTP experienced a distinct warming in recent decades, scientists have realized that a remarkable variation in vegetation in the QTP could potentially result from climate change. In this paper, the temporal variation of phenology for the alpine Gramineae was analyzed for the dates of the onset of growth in spring, blossoming, and withering from 1988 to 2010 based on the observations from five in-situ sites in the northeastern QTP. Additionally, the relationships between temperature or precipitation and the duration of the growth period for alpine Gramineae were investigated using the stepwise regression and partial correlation analysis. Seasonal trends were found to be advancing significantly in the last 20 years in the southern QTP, which includes the Three-Rivers Source Area for the dates of onset, blossoming and withering of grasses. Specifically, the trends are -4 d/10 a for onset, -13 d/10 a for blossoming, and -9 d/10 a for withering in the Qumalai *fescue* grassland, all of which are statistically significant ($P < 0.01$). Additionally, the Haibei *Stipa sareptanavar*

基金项目: 中国气象局成都高原气象研究所高原气象开放实验室基金 (LPM20090005); 国家自然科学基金项目 (41173085; 41061002); 国家公益性行业(气象)科研专项 (GYHY201306054) 的共同资助

收稿日期: 2013-03-27; 修订日期: 2013-10-08

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

krylovii grassland, which is in the northern portion of the study area, experienced increasing trends that is totally different with Qumalai for all three phenological events in the last decade. Furthermore, the results revealed significant geographical differences in the observed changes in phenological trends between northern and southern portions of the study area, with a significant advance in the south portion and a weak delay in the northern area for the onset, blossoming and withering of grasses as well as for the overall length of the growing season. The trend in the growing season is similar to that in phenology, with the growing season becoming shorter in the southern area and being extended in the northern area; but the length of the growing season is mainly dominated by the changes of withering dates because the range of phenological change is significantly greater in the withering dates than in the onset dates. Although the onset dates show an advanced trend, which is an advantage in lengthening the growing season, a significant advance of withering dates eliminates the contribution of the earlier onset of the growing season and shortens the overall growing season. The onset dates of alpine grass are strongly related to air temperatures in January and March with negative correlations in the northeastern QTP, while warming air temperatures in January and March lead an advanced onset of growth in grasses. The blossoming dates for the same period in the north have a negative correlation with air temperature, while precipitation with a lead-time of 2 to 3 months is the major factor in southern portion. Moreover, precipitation is an important indicator that influences the withering dates. Precipitation is strongly negatively correlated with withering dates and the previous one to three months of precipitation at Xinhai Station in the northern area, but a weak positive correlation exists between withering dates and precipitation in June with a 2-month lead time at Gande and Henan stations in the southern area. This indicates that the withering dates will be delayed for a few days when the averaged precipitation occurs in June in the southern area and the significant advance in the withering dates will occur with the above averaged precipitation in May in the northern part of the northeastern QTP.

Key Words: climate change; gramineae grasses; phenology; Qinghai-Tibet Plateau

植物物候变化不仅可作为气候变化的敏感指示因子^[1],还可揭示自然生态系统对气候变化的响应和适应方式^[2]。因此,植被物候的研究已成为气候变化研究的热点领域^[3]。20 世纪初,全球尺度的植被物候变化趋势的研究,曾对全球变暖趋势及其影响作用的深入认识起到了重要推动^[4-6]。我国学者利用指标温度、长期地面物候观测资料以及卫星遥感数据,进行了大量物候期变化特征及其与气候变化的关系的分析研究^[7-11]。然而,随着研究的深入和对空间差异性认识的深入^[12-13],近年来,更多地研究已转向区域尺度物候变化特征的研究^[13]。

青藏高原由于其特殊的地理与地形特征,不仅构成了全球生态体系中的独特地理单元,而且,高寒植被生态系统对气候变化高度的敏感性和脆弱^[14-17],使之成为全球变化研究的热点区域。在近几十年显著变暖情形下^[18-20],高原地区植被覆盖发生了明显的趋势变化^[21-23],植被物候期及生长季长度也出现了显著改变^[24-25]。然而,现有的研究表明,青藏高原地区植被物候的变化特征也因其地理位置、地形特征及植被类型的不同而呈现显著的区域

差异^[25-27]。然而,对这种空间差异的认识,大多仍然只停留在整个高原区域的空间尺度上,更小范围内的空间差别的认识仍然缺乏。此外,对于气候变化对物候期影响关系的分析目前仍存在着较大的争议。Shen 等人认为春季物候并不与冬季的变暖存在直接的联系^[28],而 Yu 等人研究表明冬春季的变暖是引起春季物候提前的主导因素^[29],Luedeling 进一步指出冬季气温与春季气温对返青的变化存在不同的影响作用^[30]。也有人指出降水才是高原腹地曲麻莱地区草地物候的主导因素^[31],气温和降水变化的综合作用也许才是影响高原地区植被变化主要原因^[27]。针对高原地区植被物候研究的争议,从另一个方面说明,在区域广阔、地理和植被类型差异显著的高原地区,不同区域植被物候的变化特征以及对气候变化的响应特征相差明显,很难从全局角度找到一个普遍适用的规律。因此,在更小一级空间尺度范围内讨论高原地区植被物候变化特征,可以更准确地描述区域植被物候及其对气候变化影响的特征。

青藏高原东北部地区,地理上处于由东向西自

边缘到腹地过渡的区域,植被以高寒草原(主要分布在北部)和高寒草甸(主要分布于南部)为主^[32],多年生禾本科牧草为优势种构成其基本草地类型。该区域北部为环青海湖区域,南部则覆盖了我国最大的自然保护区“三江源自然保护区”,南北两个区域草地类型与气候条件存在较明显的差异,但均为对气候变化敏感的重点生态保护区。其由边缘到腹地过渡的地理区位特征,以及重要的生态区位特点,非常有利于探讨高原局地区域植被物候变化及其空间格局分布特征。涉及本区域植被物候研究的工作虽然已大量展开,但基于卫星数据的研究工作,由于因天气卫星更替等众多因素,难以避免卫星数据质量对分析结果的影响^[24]。且因时间分辨率的限制,基于 10 d 或 15 d 时间分辨率的植被物候期^[26,33-34],不可避免地一定程度上夸大物候变化的幅度。基于地面观测点数据的研究工作可提供更为直接的证据,并为卫星数据研究工作提供验证支持。然而,本区域利用地面观测数据所进行的物候研究工作,或者大多止于 2005 年以前^[35-37],对于进入 21 世纪后显著变暖背景下的高寒植被物候变化缺乏最新的认识;或者仅关注于一个观测点上物候变化的时间动态过程^[31,38-40],从而对空间区域总体变化过程了解

不足。因此,本文利用青藏高原东北部地区超过 20a 的地面物候观测数据序列,重点分析高寒草地植被物候动态变化的最新趋势,揭示进入 21 世纪气候显著变暖情景下,物候对气候变化的响应特征及其空间差异性。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

研究区位于青藏高原东北部,覆盖 96° — 105° E, 30° — 40° N 的区域。其地理位置及海拔高度参见图 1。海拔高度由相对较低的中部地带(平均约 2200 m),向北部祁连山和南部青南高原逐渐升高,其中 35.5° N 以南的大部分地区海拔超过 3000 m,高山地区达到 6000 m 以上。植被覆盖度总体上从东南向西北递减。其植被类型西北部柴达木盆地属典型高寒荒漠区,除东部河谷少部农耕地带、高原边缘和部分高山地区零星寒温性针叶林与灌木外,其余大部地区以高寒草甸和高寒草原为主^[32]。

本研究主要讨论高寒草地牧草生育期。因此,本文讨论的空间区域进一步限于南部三江源地区高原与祁连山南麓环青海湖区的高寒草地区。

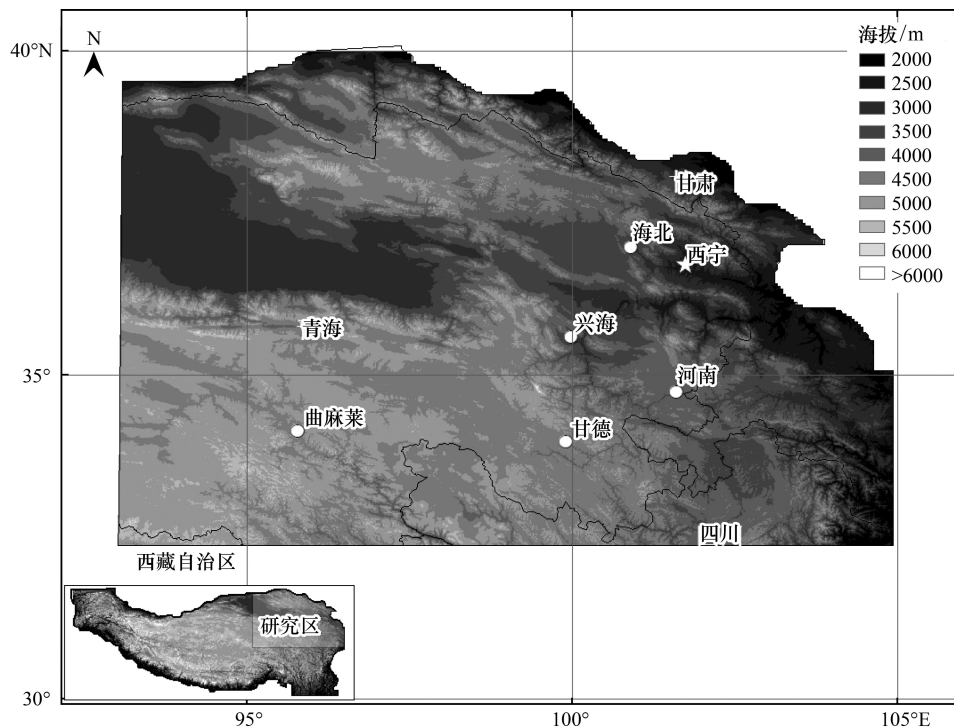


图 1 研究区海拔高度及牧草观测站点地理分布

Fig.1 Ground-base observed phenological sites and topography of northeastern Qinghai-Tibet Plateau

1.2 数据

牧草生育期数据来自于中国气象局布设于青海省兴海县(同德)、甘德县、河南县与曲麻莱县的4个牧业气象站、以及海北(铁卜加)牧业气象试验站地面观测资料。该5个站为20世纪80年代末为加强牧业气象观测而由中国气象局建设,主要布设于青藏高原东北部的典型高寒草地(图1)。根据当地优势牧草种类,确定各站代表性牧草分别为:海北、兴海为西北针茅(*Stipa sareptana* var. *krylovii*),甘德、河南为垂穗披碱草(*Elymus nutans*),曲麻莱为羊茅

(*Fescue*)。各站代表牧草反映了当地优势牧草群落构成,可指示当地牧草总体生长状况。各站点详细信息见表1。

由于兴海与海北均在观测期内发生了迁站,分别由原同德(1989—1999年)与铁卜加(1987—1997年)观测点迁至当前观测站址。观测地点改变使观测序列的完整性与代表性受到破坏。因此,本研究该两站数据均取迁站后新址所测时间序列资料。最终,所采用5站基础资料及牧草生育期观测时间序列如表1。

表1 研究区牧草生育期观测站点及其观测对象与时间

Table 1 Detail on ground-base observed phenological sites, grass types and period in northeastern Qinghai-Tibet Plateau

站点 Location	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Elevation	优势种 Dominant species	起止时间 Data time
海北	36°58′	100°51′	3140.0	西北针茅	1997—2010
兴海	35°36′	99°58′	3322.0	西北针茅	1999—2010
河南	34°44′	101°36′	3500.0	垂穗披碱草	1989—2010
甘德	33°58′	99°54′	4050.0	垂穗披碱草	1988—2010
曲麻莱	34°08′	95°47′	4175.0	羊茅	1989—2010

气象数据主要应用海北、兴海、甘德、河南与曲麻莱5个气象站1971—2010年月平均气温与合计降水量观测数据。数据来源于青海省气候资料中心。

1.3 牧草生育期观测方法

依据国家气象局(现为中国气象局)农业气象观测规范规定^[41],牧草观测场地应选择代表本地区草地类型且比较平坦的草场场地,区域草场面积一般不小于10 km×10 km,选择草场内牧草生产力处于平均水平的地段,建立具有普遍代表性的草地牧业气象观测场。观测场地于建站时设定,场地面积50 m×50 m,生育期内全封闭禁采食,并于建站时起,作为固定观测场多年重复观测。

牧草发育期观测在牧草观测场内进行。根据牧草外部形态变化,目测判断50%的牧草进入发育期的日期作为该发育期,逐一记载牧草从返青到黄枯整个生育过程中发育期出现日期。每次观测在场内取2个重复。观测由农业气象或地面气象观测专业技术人员承担,且上岗前需经培训与实习。各主要发育期观测指标如下:

返青期 春季目测牧草观测场内50%的牧草由黄转青,且牧草地上部分的高度约为1 cm;

开花期 目测牧草观测场内50%的牧草开花;
黄枯期 秋季目测牧草观测场内50%的牧草地上部分约有2/3枯萎变色。

1.4 线性倾向率及其检验

利用一次线性方程来定量描述牧草生育期的多年变化特征:

$$Y = a + bx \quad (1)$$

其中趋势变率方程为 $dy/dx = b$ 。将 b 称作倾向率,其值的大小反映了线性变化速率的程度,值的符号反映趋势变化的方向,符号为正(负)表示随时间的增加,牧草生育期延长(提前)。

其线性显著程度,采用相关系数法进行检验^[42]。

1.5 逐步回归

逐步回归分析的实施过程是每一步都要对已引入回归方程的变量计算其偏回归平方和(即贡献),然后选一个偏回归平方和最小的变量,在预先给定的 F 水平下进行显著性检验。如果显著则该变量不必从回归方程中剔除,如果不显著,则该变量被剔除,然后按偏回归平方和由小到大依次对方程中其它变量进行 F 检验。将对 y 影响不显著的变量全部剔除,保留显著因子。这一过程持续进行,直到

在回归方程中的变量都不能剔除而又无新变量可以引入时为止^[42]。

本文利用逐步回归中因变量与自变量关系的偏回归分析过程,分析并筛选牧草生育期与多因子间关系,揭示气温与降水对牧草生育期综合影响的关系。逐步回归计算利用 SPSS 13.0 软件完成,因为本文的主要目的是检测牧草生育期的主导影响因子而非建立回归方程,因此逐步回归变量引入与剔除置信水平分别设置为 0.10 与 0.15。

2 结果与讨论

整理所获 5 个站牧草生育期多年数据,对近 20 年来牧草返青、开花、黄枯及生长季长度的变化分别进行分析。

2.1 生育期变化

2.1.1 返青期

图 2 列出 1988 年以来 5 个站优势牧草返青期

日期,同时标出 3a 滑动平均曲线与线性趋势,并在图中标出通过 0.10 显著性检验水平的线性拟合方程。从图中可以发现,除海北外,近 20 年青藏高原东北部地区各站牧草返青日期均有不同程度的提前。返青期变化最显著的是曲麻莱,不仅年际波动非常显著,近 22 年其牧草返青期表现出明显提前趋势。兴海与甘德地区虽然变化幅度不明显,但返青期提前的趋势非常清晰。河南地区牧草返青期变化则表现为明显的阶段性变化特征,并大致以 1995 年为界。在此之前,牧草返青期持续急剧推迟,1995 年之前,返青期由 1989 年的 4 月 25 日(儒略日第 115 天)至 1995 年的 5 月 11 日(儒略日第 131 天),推迟达到 16 d。然而,1995 年后,这种趋势突然转变为显著提前趋势,这一时段其倾向率达 -0.5632。总体上,从 4 个站返青提前的年际动态特征看,进入 2000 年后,生育期提前的现象非常明显。

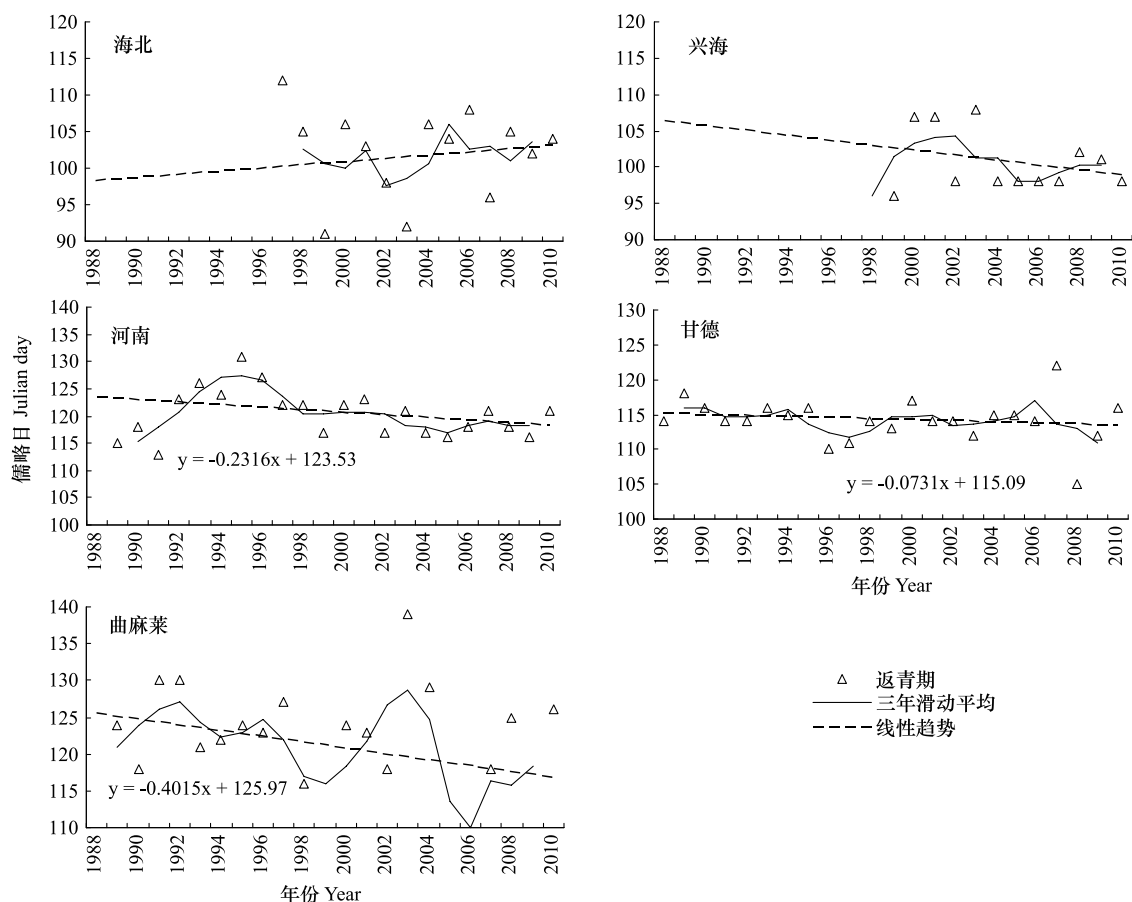


图 2 1988—2010 年海北、兴海、河南、甘德、曲麻莱牧草返青期

Fig.2 Onset dates in Henan, Gande, Haibei, Xinghai, Qumalai respectively from 1988 to 2010

海北地区牧草返青期自 1997 年以来总体呈推

迟趋势,特别是进入 21 世纪后这种趋势更为显著。

这种推迟的变化趋势与其他四站有明显不同。然而,也应该注意到,自有观测数据起的 1997 年至 21 世纪初期,海北的返青期实际上处于一个提前的变化过程中。在此之前观测数据的缺乏也许会一定程度上影响到海北牧草返青期变化长期趋势的判断。

计算各站观测时期内线性倾向率发现(表 2),处于偏西部地区的曲麻莱牧草返青提前现象最为显著,其倾向率达到-0.401,通过 0.01 的显著性水平检验,22 a 间返青期共提前约 9 d。河南甘德倾向率分别达到-0.231 和-0.073,且均通过 0.10 的显著性检验水平。其返青虽然呈提前趋势,但提前不明显。从各站显著性检验水平可以发现,处于南部的曲麻莱、河南、甘德,返青期均呈提前趋势,且这种变化趋势线性程度均能达到一定的显著性水平,表明本研究区南部地区各站近 20 年返青期提前趋势较为明显。北部的兴海牧草返青期也呈提前趋势(倾向率为-0.339),但海北则表现为推迟趋势(0.226),然而其变化趋势均未通过 0.10 的显著性检验水平,表明北部地区近 10 余年返青期变化的趋势并不明显,研究区南北区域返青期趋势变化的明显差别,

反映了生育期变化的地域差异性。此外,南部的河南、甘德和曲麻莱地区以高寒草甸为主,北部的海北和兴海以高寒草原为主。这反映了近 20 年来高寒草甸返青变化趋势明显,而高寒草原的变化趋势不明显且其显著程度明显弱于高寒草甸。

表 2 各站观测时期内牧草返青、开花、黄枯及生长季长度线性倾向率

Table 2 linear trend of onset, blossoming, withering and growing season in 5 sites during their study period respectively

站点 Sites	生育期 Phenology			
	返青 Onset	开花 Blossoming	黄枯 Withering	生长季 Growing season
海北	0.226	0.068	0.771	0.824
兴海	-0.339	0.266	-1.318 ***	-0.979 ***
河南	-0.231 *	-0.195	-0.587 ***	-0.455 ***
甘德	-0.073 *	0.229 *	0.299 ***	0.372 ***
曲麻莱	-0.401 ***	-1.313 ***	-0.888 ***	-0.422 ***

* 指示线性倾向率通过 0.10 显著性检验水平, ** 为通过 0.05 显著性检验水平, *** 为通过 0.01 显著性检验水平

2.1.2 开花期

从各站开花期出现日期的年际变化看(图 3),

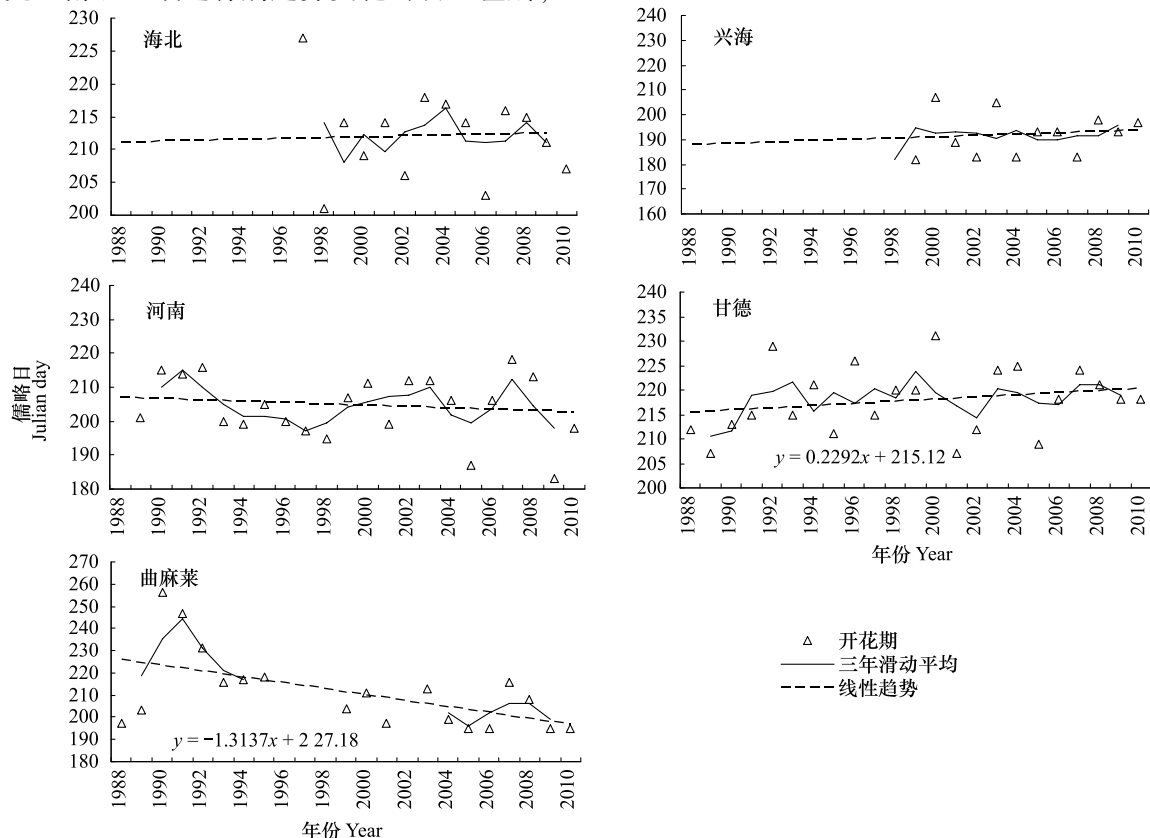


图 3 1988—2010 年河南、甘德、海北、兴海、曲麻莱牧草开花期

Fig.3 Blossoming dates in Henan, Gande, Haibei, Xinghai, Qumalai respectively from 1988 to 2010

与返青期相一致,曲麻莱开花期仍然表现为显著提前趋势,且二生育期的动态变化过程也非常相似。河南开花期虽然也呈提前趋势。与前述两地不同的是,甘德、兴海与海北开花期则出现弱的推迟趋势。

近 20 年各站开花期的线性趋势分析表明(表 2),曲麻莱开花期提前非常明显,其趋势率达到约 13 d/10 a,观测期内的 22 a,开花期提前约 29 d,接近一个月的时间。甘德开花期有一定推迟,其趋势率约为 2.3 d/10 a,有观测记录以来的 23 年间,开花期推迟约 5 d。其余地区均未通过 0.10 的显著性检验水平,表明其开花期线性变化的趋势并不明显。曲麻莱虽然返青期提前明显,但开花期提前更为显著,使得返青-开花期间的天数自 1989 年以来仍缩短了近 16 d。甘德地区返青期提前,开花期推后,但返青-开花期间的天数近 23 年仅呈弱延长趋势。

开花期变化趋势也呈现了南北地区及高寒草原与高寒草甸之间的明显差异。南部高寒草甸地区近

20 年开花期线性变化趋势明显,且以提前为主。但北部的高寒草原区则表现为一定程度的推迟,且这种变化趋势并不明显。

2.1.3 黄枯期

各站黄枯期的年际变化特征表明(见图 4),海北与甘德两站黄枯期推迟,其余 3 个地区牧草黄枯期则明显提前。曲麻莱黄枯期年际波动剧烈,近 20 年最大变幅超过 40 d。

从各站线性变化趋势看(表 2),除最北部的海北外,其余 4 站黄枯期均呈显著的线性变化趋势(均通过 0.01 显著性检验水平),其中曲麻莱、河南、兴海黄枯期总体呈显著提前趋势,其年际变率约达到 9 d/10 a、6 d/10 a 和 13 d/10 a。而甘德黄枯期则有一定推迟,其倾向率约为 3 d/10 a。

黄枯期变化体现了较明显地域差异性,南部高寒草甸区的甘德黄枯推迟,而河南、曲麻莱则提前。

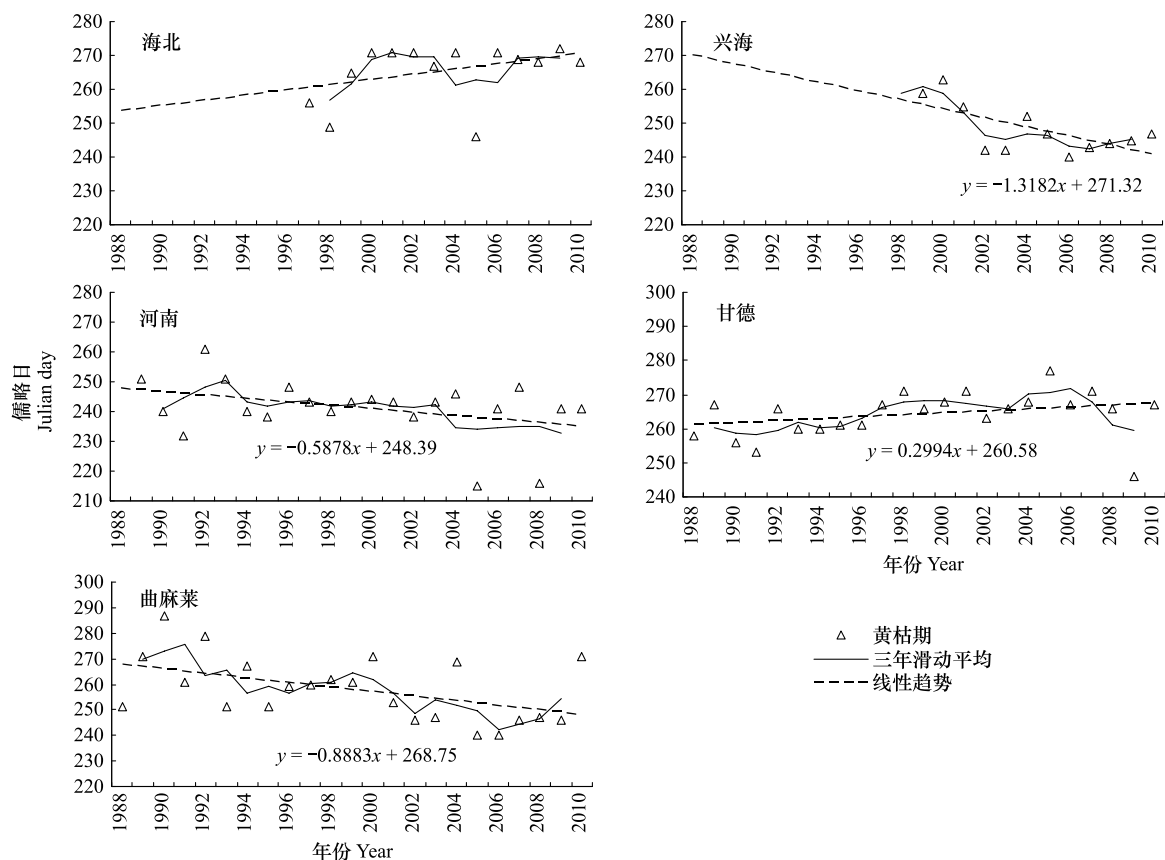


图 4 1988—2010 年河南、甘德、海北、兴海、曲麻莱牧草黄枯期

Fig.4 Withering dates in Henan, Gande, Haibei, Xinghai, Qumalai respectively from 1988 to 2010

2.1.4 生长季

图 5 给出了青藏高原东北部 5 站返青-黄枯期间

生长季天数及其多年变化趋势(图 5)。从图中可以看出,兴海、河南、曲麻莱 3 站牧草生长季长度呈明

显缩短趋势,海北与甘德地区则有不同程度的延长。从其线性倾向率看(表 2),除海北外,其余各地生长季长度呈显著线性变化趋势,且均通过 0.01 的显著性检验水平。甘德生长季呈延长趋势,其倾向率约为 4 d/10 a,近 23 年来生长季长度共延长约 9 d。处于南部地区的河南和曲麻莱生长季缩短较为明显且趋势大致相近,其线性趋势率大致为 4 d/10 a。生长季天数缩短最为明显的是兴海地区,其线性趋势率

对比返青与黄枯期变化特征,虽然海北地区近

10 a 来牧草各生育期普遍呈推迟趋势,但黄枯期推迟更明显,因此生长季长度呈延长趋势。甘德返青提前但黄枯期相对明显推迟,生长季延长。其余三地虽然返青提前,但黄枯提前更显著,使生长季缩短趋势明显。总体而言,近 20 年,黄枯期的变化远较返青期显著,研究区大部地区返青期提前,但其提前的幅度较小,而同一地区黄枯期的变化幅度则明显大于返青期,使得生长季长度的变化更多地受黄枯期变化幅度的影响。

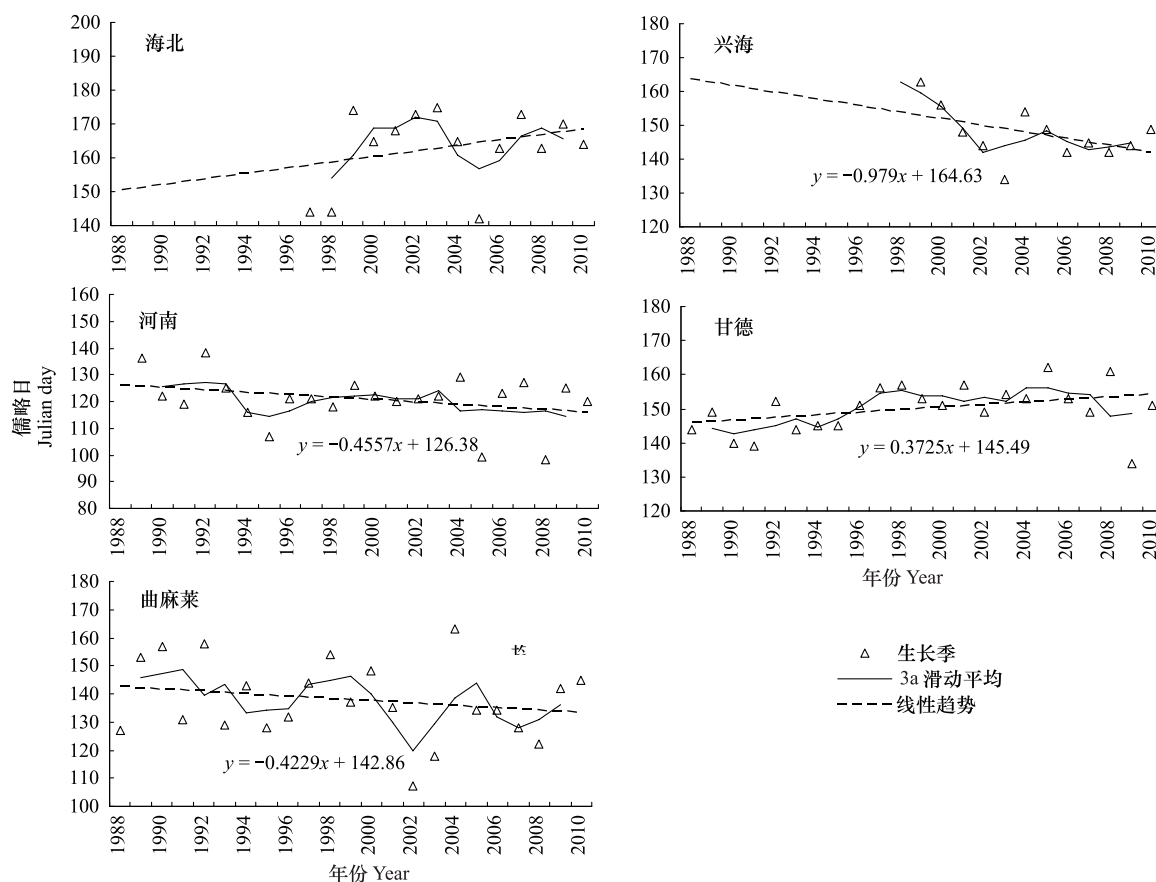


图 5 1988—2010 年河南、甘德、海北、兴海、曲麻莱牧草生长季长度

Fig.5 Growing season in Henan, Gande, Haibei, Xinghai, Qumalai respectively from 1988 to 2010

2.2 气候变化的影响

利用各站点地面观测气温与降水数据,采用简单线性相关和偏相关分析方法,对牧草生育期与单因子及多因子综合关系进行了分析对比。已有研究表明^[24, 29, 39],青藏高原牧草生长不仅受同期水热条件的影响,还与前期气候条件的变化密切相关。因此,本文考虑 3 个月的滞后效应,分别计算各站不同生育期与当月及超前 3 月气温、降水的相关系数。

2.2.1 单因子线性相关分析

表 3 列出了各站生育期与当前及超前 3 个月气温、降水相关系数。从表中可以看出,仅海北、兴海、河南三地牧草返青期与气温或降水存在直接联系,其中海北返青期与返青前 2 个月(即 2 月份)的降水相关,兴海则与返青前一个月的气温存在负相关关系,河南则与超前 3 个月的 1 月气温相关更为紧密。相关系数的分析表明,气温偏高返青期提前,前期降

水偏多返青可能有所推迟。然而,甘德与曲麻莱返青期则与同期及超前气温和降水均无明显相关关系。开花期,大部地区气温偏高开花提前(负相关),但开花期与超前 3 个月的气温和降水关系更为密切,即高原上牧草开花期与 4 月气温和降水的关系

密切相关,4 月气温偏高、降水偏多,则开花期明显提前。值得注意的是,表 3 中相关系数计算结果表明,黄枯期与气温和降水均无明显联系。说明简单相关系数不能完全反映牧草与气候间的关系。

表 3 同期及超前 3 个月气温与降水与各生育期天数的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between growing season dates and synchronal and leading three month air temperature and precipitation										
生育期 Phenology	站点 Sites	生育期多年平均值 Mean onset dates	T-3	T-2	T-1	T	P-3	P-2	P-1	P
返青	海北	4.12	0.3932	-0.3331	-0.1196	-0.2915	0.2065	0.5199 *	-0.295	0.0451
	兴海	4.11	-0.0599	-0.3766	-0.5912 **	-0.202	0.0272	0.0056	-0.1496	-0.3267
	河南	4.30	-0.4863 **	-0.3195	-0.2376	-0.1637	0.2817	0.1148	0.1551	-0.0478
	甘德	4.24	-0.1847	0.0885	-0.0965	-0.3226	-0.2023	-0.0299	-0.2598	0.0164
	曲麻莱	4.30	-0.3093	-0.0574	-0.1988	-0.0297	0.1213	-0.1076	-0.1649	-0.2798
开花	海北	7.31	-0.4844 *	-0.1981	0.2232	0.3157	-0.2525	-0.6354 **	0.4242	-0.2643
	兴海	7.11	-0.3	0.3786	0.1238	0.4773	-0.3933	-0.2096	-0.1688	0.3054
	河南	7.23	-0.082	-0.0809	-0.3419	-0.2682	-0.3634 *	-0.3487	0.3124	-0.1025
	甘德	8.6	0.4489 **	0.1878	-0.0834	-0.3007	-0.6411 ***	0.0481	0.5096 **	-0.1789
	曲麻莱	7.30	-0.4011 *	-0.075	-0.1877	-0.4645 **	-0.5166 **	-0.3988 *	-0.2558	-0.1561
黄枯	海北	8.22	-0.1028	-0.2058	0.1767	-0.2143	-0.031	0.1503	-0.2174	-0.0265
	兴海	8.5	0.0037	0.3869	0.2126	-0.481	-0.4806	-0.1224	-0.3587	-0.1926
	河南	8.29	-0.2191	-0.272	-0.2182	0.0805	0.097	0.3407	0.135	-0.0979
	甘德	9.21	-0.0844	-0.0073	0.3085	0.1415	0.3091	-0.227	-0.0863	0.1767
	曲麻莱	9.15	-0.1667	-0.3222	-0.3368	-0.2651	-0.0129	-0.2883	-0.2615	0.0173

* 指示相关系数通过 0.10 显著性检验水平, * * 为通过 0.05 显著性检验水平, * * * 为通过 0.01 显著性检验水平; T 和 P 分别为生育期出现当月平均气温与合计降水量,横短线“-”后数字表示超前的月份,如:T-3 表示超前 3 个月的气温,P-1 表示超前 1 个月降水量

2.2.2 多因子偏相关分析

以上简单相关系数分析的结论表明,我们很难从单因子相关分析中判断出气候变化对牧草生育期的影响关系。Shen 等人也指出通过线性回归不能明确检测出青藏高原返青期与冬季气温间所存在的联系^[28],Leideling 等人则利用偏最小二乘回归方法重新检测了冬春季气温与返青期间的关系,结果发现与此前的研究不同的是,高原地区植被返青并不只与冬季变暖有关,而是冬春季气温升高的共同影响^[30]。因此,本文将各站当前及超前 3 个月月平均气温与月合计降水量作为潜在影响因子,共同输入逐步回归计算过程。通过各因子与牧草生育期间偏回归分析过程,讨论气温和降水对牧草生育期的综合影响关系,并以此揭示其主导影响因子。各站不同生育期与多因子偏相关分析结果如表 4。

返青期。与线性相关系数分析结果明显不同,考虑气温与降水共同作用的条件下,海北和甘德牧草返青期与当前及超前各月气温和降水关系并不显

著,反映了该两地牧草返青并不一定仅仅受气温和降水条件影响,其返青可能受更多环境因素的共同制约。兴海主要与超前 1 月气温关系显著,其偏相关系数达到-0.591,通过 0.05 的显著性检验水平。从其回归方程 R_a^2 值可以看出,超前 1 月的 3 月气温(T-1)基本可解释近 30%牧草返青变化,表明 3 月气温是兴海地区返青主导影响因素,3 月气温偏高返青提前。河南则更显著地联系到超前 3 个月的 1 月气温(T-3)的高低,二者间也存在显著负相关关系,1 月气温的高低影响到约 20%的牧草变化。曲麻莱除了超前 3 个月的 1 月气温(T-3)外,超前 1 月的 3 月降水量(P-1)也是影响牧草返青的重要因素,两个因子可共同解释近 40%牧草返青变化,但起主导作用的仍是超前 3 个月的 1 月气温,其偏相关系数通过 0.01 的显著性检验水平。1 月气温偏高 3 月降水偏多,则返青提前,反之相反。虽然仅有 3 个站也气温和降水存在明显联系,但也可看出,青藏高原地区返青主要受气温的影响。

开花期。从表 4 中各站气温或降水与牧草显著的偏相关系数可以发现,相比返青期,开花期更多地受气温和降水的影响,从其响应特征上可明显看出,南北地区的空间差异非常清晰,北部的海北、兴海地区更明显地受气温的影响,而南部的河南、甘德和曲麻莱则主要受降水的制约。海北主要受同期 7 月气温和前期 4 月气温的主导,两因子可解释 65% 的变化,兴海则主要与同期 7 月气温的影响。然而不同的是,海北 7 月和 4 月气温与开花期呈显著负相关关系(偏相关系数分别通过 0.001 和 0.01 的显著性检验水平),7 月与 4 月气温偏高促进开花期提前,兴海则与 7 月气温呈弱的正相关关系,气温偏高可促使开花期推迟。南部三地主要与开花前期 2—3 个月的降水量密切相关,河南与其春季降水量呈明显负相关关系。曲麻莱与 4 月降水量及气温密切相

关,春季 4 月气候条件对其开花具有显著影响关系,可主导约 60% 的开花期变化,4 月气温偏高、降水偏多促进开花期提前。甘德虽然与前期 6 月的降水量明显相关,但其呈正相关关系,6 月降水量偏多不利于开花。

黄枯期。海北牧草黄枯与气温降水关系不明显,但兴海地区牧草黄枯与气温和降水高度相关。黄枯同期当月气温与超前 1 月和 3 月降水主导了近 80% 的黄枯期变化(R_a^2 达到 79.4%),且三个因子均表现为显著负相关关系,8 月气温偏高、5 月与 7 月降水偏多均可促使牧草黄枯提前。然而,曲麻莱则仅与超前 1 月的气温有弱的负相关关系,甘德与河南则均与前期 6 月降水呈弱的正相关关系,说明 6 月降水偏多,一定程度上推迟黄枯的到来,延长生长季。

表 4 返青期与同期及超前 3 个月气温与降水逐步回归方程参数及偏相关系数检验

Table 4 Parameters of stepwise regression between growing season dates and synchronal and leading three month air temperature and precipitation

生育期 Phenology	站点 Sites	回归步数 Steps	变量名* Variable	变量偏相关检验 Partial regress Testing		回归方程参数 Regression testing			
				偏相关系数 Partial correlation coefficient	显著性 Sig.	R^2	R_a^2	F	显著性 Sig.
返青	海北	0	—	—	—	—	—	—	—
	兴海	1	T-1	-0.591	0.05	0.350	0.284	5.373	0.043
	河南	1	T-3	-0.486	0.05	0.237	0.198	6.196	0.022
	甘德	0	—	—	—	—	—	—	—
	曲麻莱	1	T-3	-0.571	0.01	0.308	0.274	8.910	0.007
开花	海北	2	P-1	-0.381	0.10	0.409	0.374	6.570	0.007
		2	T-3	-0.813	0.001	0.540	0.456	6.454	0.014
	兴海	1	T	-0.729	0.01	0.701	0.647	12.905	0.001
		1	T	0.477	0.15	0.228	0.151	2.950	0.117
	河南	1	P-3	0.477	0.15	0.228	0.151	2.950	0.117
		2	P-2	-0.509	0.05	0.132	0.089	3.044	0.096
	甘德	1	P-2	-0.501	0.05	0.350	0.281	5.107	0.017
		1	P-2	0.510	0.05	0.260	0.24	7.368	0.013
	曲麻莱	1	P-3	-0.762	0.001	0.267	0.221	5.824	0.028
		2	T-3	-0.721	0.001	0.648	0.602	13.835	0.001
黄枯	海北	0	—	—	—	—	—	—	—
	兴海	1	T	-0.854	0.001	0.231	0.155	3.011	0.113
		2	P-1	-0.949	0.001	0.487	0.373	4.278	0.049
		3	P-3	-0.841	0.001	0.850	0.794	15.124	0.001
	河南	1	P-2	0.341	0.15	0.116	0.072	2.627	0.121
		1	P-3	0.309	0.20	0.096	0.052	2.218	0.151
	曲麻莱	1	T-1	-0.337	0.20	0.113	0.069	2.560	0.125

T 和 P 分别为生育期出现当月平均气温与合计降水量,横短线“—”后数字表示超前的月份,如:T-3 表示超前 3 个的气温,P-1 表示超前 1 个月降水量

3 讨论

Zhang 等人^[24]与丁明军等人^[26]基于同类卫星研究表明,高原植被返青期自 1982 年以来表现为持续的显著提前趋势,其倾向率可达到 10 d/10 a。然而,本文的研究结论表明,在青藏高原东北部地区,高寒牧草返青期变化并不呈一致的提前趋势,而是表现为明显的空间分布特征,研究区涵盖三江源自然保护区的南部地区返青期提前明显,而以环青海湖区域为代表的北部则呈推迟趋势。仔细对照 Zhang 等人研究过程,其返青期变化在地域分布上并不表现为一致地提前趋势。相反,在 5 个研究点相对应区域,二者返青期的变化趋势大致相似。同样,在相同区域,丁明军等人的研究结果也与此相一致。基于地面观测数据的研究也指出,青藏高原植物物候期变化具有明显的地域性,祁如英等人指出返青期变化趋势总体呈东北正值(推迟)西南负值(提前)的空间分布^[36]。这证实青藏高原东北部地区牧草返青变化趋势存在显著空间差异性,且南北部差别显著,北部地区返青有所推迟,而南部地区返青提前。此外,草地类型在空间分布上的差异,也表现为不同牧草类型返青期变化的差异性,南部高寒草甸表现为一致的提前趋势,而北部高寒草原则与此并不一致。Yu 等人^[29]区分草原和草甸,不同草地类型的返青期变化存在差异的结论也支持我们的结论。同样,开花、黄枯及生长季长度的变化也表现为显著地空间差异性。

对比气候变化影响的单因子分析过程与多因子的偏相关分析结果,可以发现,单因子线性相关分析有时可以揭示气候变化与牧草物候期变化间的相互关系,如兴海、河南返青期主导影响因子在两种分析方式下均得出同一结果。但大多数情况下,单因子的分析由于忽略了因子间相互关系,而可能得出不正确的结论。如,海北返青期单因子分析结果为主要受前期 2 月降水量的影响,但气温和降水综合分析的结果则表明,海北地区牧草返青期的变化并不由个别气候因子所决定,也可能是多个环境因素综合影响的结果,因为偏相关分析过程中 2 月降水量的影响作用并不显著。相反,曲麻莱返青变化由于受多个气候因子的制约,而不能从单因子分析过程中被检测,在考虑多因子综合影响的偏最小二乘回

归过程中,前期 1 月气温和 3 月降水量对返青近 6 成的影响作用被检测出。Leideling 等人^[30]指出,单独一对一的影响关系由于忽视了因子间相关制约和相互作用的关系,而可能得出不准确的分析结果。通过多因子分析过程获得的河南、曲麻莱返青期变化主要受 1 月气温的主导,这与 Yu 等人^[29]、Shen 等人^[28]得出的高原地区植被返青主要与冬季温度的变化有关的结论相一致。

4 小结

近 20 年青藏高原东北部大部地区牧草返青期呈提前趋势。其中返青提前最明显的曲麻莱地区倾向率达到 -4 d/10 a(通过 0.01 的显著性水平检验),22 年间返青期共提前约 9 d。开花期北部推迟南部提前,曲麻莱开花提前十分显著,其倾向率达到 13 d/10 a,但其余地区变化幅度较小。海北与甘德两站黄枯期推迟,其余 3 个地区牧草黄枯期则明显提前。曲麻莱、河南、兴海黄枯期总体呈显著提前趋势,其年际变率分别达到 9 d/10 a、6 d/10 a 和 13 d/10 a。

兴海、河南、曲麻莱三站牧草生长季长度呈明显缩短趋势,其线性趋势率大致为 4 d/10 a。生长季天数缩短最为明显的是兴海地区,其线性趋势率达到 10 d/10 a。海北与甘德地区则略有延长。总体而言,近 20 a,黄枯期的变化远较返青期显著。研究区大部地区返青期提前,但其提前的幅度较小,而同一地区黄枯期的变化幅度则明显大于返青期,使得生长季长度的变化更多地受黄枯期变化幅度的影响。

青藏高原东北部地区生育期变化的南北区域空间差别显著。返青期南部高寒草甸区提前的变化趋势明显,而北部高寒草原区提前趋势不明显或明显推迟。开花期南部除甘德外近 20 年提前趋势明显,但北部则表现为一定程度的推迟。黄枯期与生长季长度的变化也与此相似。总体上,处于三江源地区的南部呈明显提前和缩短趋势,环青海湖地区的北部推迟和延长,

影响返青期变化的最主要因子是返青前期的气温,3 月和 1 月气温是影响兴海和河南牧草返青最主要的因子,而 1 月气温和 3 月降水则是影响曲麻莱牧草返青的关键气候因子。开花期变化更多地受气温和降水的共同影响,但北部地区更明显地受同期气温的影响,气温增高促进开花期提前,而南部地区

则主要与开花前 2—3 个月降水量密切相关。兴海牧草黄枯与气温和降水高度相关,黄枯当月气温与超前 1 月和 3 月降水量影响了近 80%的变化量。甘德与河南则与 6 月降水存在弱的正相关关系,6 月降水偏多,将一定程度推迟牧草黄枯延长生长季。

致谢:青海省遥感中心颜亮东与严英存的帮助收集数据;肖建设帮助制图;National Hydrology Research Centre, Environment Canada 的 Dr. Xiaogang Shi 与 University of Saskatchewan 的 Dr. Zhibang Lü 润色英文摘要,特此致谢。

Reference:

- [1] Ge Q S, Dai J H, Zheng J Y. The progress of phenology studies and challenges to modern phenology research in China. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2010, 25(3): 310-316.
- [2] 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(6918): 57-60.
- [3] Rosenzweig C, Casassa G, Karoly D J. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. London: Cambridge University Press, 2007: 79-131.
- [4] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, Asrar G, Nemani R R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981—1991. *Nature*, 1997, 386(6626): 698-702.
- [5] Bogaert J, Zhou L, Tucker C J, Myneni R B, Ceulemans R. Evidence for a persistent and extensive greening trend in Eurasia inferred from satellite vegetation index data. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(D11): ACL 4-1-ACL 4-14, doi:10.1029/2001JD001075.
- [6] Keeling C D, Chin J F S, Whorf T P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature*, 1996, 382(6587): 146-149.
- [7] Shen M G, Tang Y H, Chen J, Yang W. Specification of thermal growing season in temperate China from 1960 to 2009. *Climatic Change*, 2012, 114(3/4): 783-798.
- [8] Zhang X Z, Dai J H, Ge Q S. Spatial differences of changes in spring vegetation activities across Eastern China during 1982—2006. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(1): 53-61.
- [9] Kang S Y, Yang B, Qin C. Recent tree-growth reduction in north central China as a combined result of a weakened monsoon and atmospheric oscillations. *Climatic Change*, 2012, 115(3/4): 519-536.
- [10] Zhong S Y, Zheng J Y, Ge Q S. Dynamics of autumn phenophase of woody plants in Beijing region in 1962—2007. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2352-2356.
- [11] Zhang X X, Ge Q S, Zheng J Y, Zhang F C. Responses of spring phenology to climate changes in Beijing in Last 150 Years. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2005, 26(3): 263-267.
- [12] Dong M Y, Jiang Y, Zhang D Y, Wu Z F. Spatiotemporal change in the climatic growing season in Northeast China during 1960—2009. *Theoretical and Applied Climatology*, 2012, 111(3/4): 693-701.
- [13] Chang Z F, Zhang J H. The achievements, problems and growing point on study of plant phenology. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(29): 276-283.
- [14] An Z S, Kutzbach J E, Prell W L, Porter S C. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 2001, 411(6833): 62-63.
- [15] Zhang J H, Yao F M, Zheng L, Yang L M. Evaluation of grassland dynamics in the Northern-Tibet Plateau of China using remote sensing and climate data. *Sensors*, 2007, 7(12): 3312-3328.
- [16] Sun H L, Zheng D. Formation, Evolution and Development of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1998: 179-230.
- [17] Zhao X Q. Alpine Meadow Ecosystem and Global Change. Beijing: Science Press, 2009: 1-17.
- [18] Duan A M, Wu G X, Zhang Q, Liu Y M. New proofs of the recent climate warming over the Tibetan Plateau as a result of the increasing greenhouse gases emissions. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(11): 1396-1400.
- [19] Wu S H, Yin Y H, Zheng D, Yang Q Y. Aridity/humidity status of land surface in China during the last three decades. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2005, 48(9): 1510-1518.
- [20] Ren G Y, Chu Z Y, Zhou Y Q, Xu M Z, Wang Y, Tang G L, Zhai P M, Shao X M, Zhang A Y, Chen Z H, Guo J, Liu H B, Zhou J X, Zhao Z C, Zhang L, Bai H Z, Liu X F, Tang H Y. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 701-716.
- [21] Xu W X, Gu S, Zhao X G, Xiao J S, Tang Y H, Fang J Y, Zhang J, Jiang S. High positive correlation between soil temperature and NDVI from 1982 to 2006 in alpine meadow of the Three-River Source Region on the Qinghai-Tibetan Plateau. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011, 13(4): 528-535.
- [22] Zhong L, Ma Y M, Salama M S, Su Z B. Assessment of vegetation dynamics and their response to variations in precipitation and temperature in the Tibetan Plateau. *Climatic Change*, 2010, 103(3/4): 519-535.
- [23] Cui X F, Graf H F. Recent land cover changes on the Tibetan Plateau: a review. *Climatic Change*, 2009, 94(1/2): 47-61.
- [24] Zhang G L, Zhang Y J, Dong J W, Xiao X M. Green-up dates in the Tibetan Plateau have continuously advanced from 1982 to 2011. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(11): 4309-4314.
- [25] Ding M J, Zhang Y L, Sun X M, Liu L S, Wang Z F, Bai W Q. Spatiotemporal variation in alpine grassland phenology in the Qinghai-Tibetan Plateau from 1999 to 2009. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 58(3): 396-405.
- [26] Ding M J, Zhang Y L, Liu L S, Wang Z F. Spatiotemporal changes of commencement of vegetation greening and its response to climate change on Tibetan Plateau. *Advances in Climate Change Research*, 2011, 7(5): 317-323.

- [27] Shen M G, Tang Y H, Chen J, Zhu X L, Zheng Y H. Influences of temperature and precipitation before the growing season on spring phenology in grasslands of the central and eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151 (12): 1711-1722.
- [28] Shen M G. Spring phenology was not consistently related to winter warming on the Tibetan Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108 (19): E91-E92.
- [29] Yu H Y, Luedeling E, Xu J C. Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(51): 22151-22156.
- [30] Luedeling E, Yu H Y, Xu J C. Replies to Shen, Chen et al, and Yi and Zhou: Linear regression analysis misses effects of winter temperature on Tibetan vegetation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108 (19): E95-E95.
- [31] Zhang B C, Cao J J, Bai Y F, Zhou X H, Ning Z G, Yang S J, Hu L. Effects of rainfall amount and frequency on vegetation growth in a Tibetan alpine meadow. *Climatic Change*, 2013, 118 (2): 197-212.
- [32] Compilation Committee of Chinese Academy of Science. *Vegetation Map of The People's Republic of China*. Beijing: Science Press, 2001.
- [33] Song C Q, You S C, Ke L H, Liu G H, Zhong X K. Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (4): 1045-1055.
- [34] Yu F F, Price K P, Ellis J, Shi P J. Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 87(1): 42-54.
- [35] Sun B G, Long R J, Wang C T. A study on the plant population phenology in Qinghai-Tibet plateau *Kobresia pygmaea* meadow. *Pratacultural Science*, 2007, 24(8): 16-20.
- [36] Qi R Y, Wang Q L, Sheng 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.
- [37] Zhang G S, Li L, Wang Q C, Li X L, Xu W X, Dong L X. Effects of climatic changes of south Qinghai Plateau on the alpine meadow. *Acta Pratacultural Science*, 1999, 8(3): 1-10.
- [38] Wang J B, Wang Z G. The impact factors and the phenological variation of *Elymus nutans* in Maqu meadow. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2011, 22(4): 493-497.
- [39] Wang J B. The phenological variation of *Elymus nutans* during recent 20 years at the side slope conditions in the Northeast region of Qinghai-Xizang Plateau-a case study of Hezuo. *Pratacultural Science*, 2011, 28(10): 1851-1854.
- [40] Li H M, Ma Y S, Wang Y L. Influences of climate warming on plant phenology in Qinghai Plateau. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2010, 21(4): 500-505.
- [41] China Meteorological Administration. *Specifications for Agrometeorological Observation (Vol. 1)*. Beijing: Meteorological Press, 1993.
- [42] Wei F Y. *Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology*. Beijing: Meteorological Press, 2007: 105-234.
- 参考文献:**
- [1] 葛全胜, 戴君虎, 郑景云. 物候学研究进展及中国现代物候学面临的挑战. *中国科学院院刊*, 2010, 25(3): 310-316.
- [8] 张学珍, 戴君虎, 葛全胜. 1982—2006 年中国东部春季植被变化的区域差异. *地理学报*, 2012, 67(1): 53-61.
- [10] 仲舒颖, 郑景云, 葛全胜. 1962—2007 年北京地区木本植物秋季物候动态. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2352-2356.
- [11] 张学霞, 葛全胜, 郑景云, 张福春. 近 150 年北京春季物候对气候变化的响应. *中国农业气象*, 2005, 26(3): 263-267.
- [13] 常兆丰, 张剑挥. 植物物候研究的成就、问题与生长点. *中国农学通报*, 2011, 27(29): 276-283.
- [16] 孙鸿烈, 郑度. *青藏高原形成演化与发展*. 广州: 广东科技出版社, 1998.
- [17] 赵新全. *高寒草甸生态系统与全球变化*. 北京: 科学出版社, 2009.
- [19] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 杨勤业. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2005, 35(3): 276-283.
- [20] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 徐铭志, 王颖, 唐国利, 翟盘茂, 邵雪梅, 张爱英, 陈正洪, 郭军, 刘洪滨, 周江兴, 赵宗慈, 张莉, 白虎志, 刘学峰, 唐红玉. 中国气温变化研究最新进展. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 701-716.
- [26] 丁明军, 张懿铨, 刘林山, 王兆峰. 青藏高原植物返青期变化及其对气候变化的响应. *气候变化研究进展*, 2011, 7(5): 317-323.
- [32] 中国科学院中国植被图编辑委员会. *中国植被图*. 北京: 科学出版社, 2001.
- [33] 宋春桥, 游松财, 柯灵红, 刘高焕, 钟新科. 藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应. *生态学报*, 2012, 32 (4): 1045-1055.
- [35] 孙步功, 龙瑞军, 王长庭. 青藏高原冷龙岭南麓高寒小嵩草草甸植物种群物候学研究. *草业科学*, 2007, 24(8): 16-20.
- [37] 张国胜, 李林, 汪青春, 李希来, 徐维新, 董立新. 青南高原气候变化及其对高寒草甸牧草生长影响的研究. *草业学报*, 1999, 8(3): 1-10.
- [38] 王建兵, 汪治桂. 玛曲草地垂穗披碱草物候变化及影响因子. *应用气象学报*, 2011, 22(4): 493-497.
- [39] 王建兵. 近 20 年青藏高原东北部边坡地带垂穗披碱草物候变化-以甘肃合作为例. *草业科学*, 2011, 28(10): 1851-1854.
- [40] 李红梅, 马玉寿, 王彦龙. 气候变暖对青海高原地区植物物候期的影响. *应用气象学报*, 2010, 21(4): 500-505.
- [41] 国家气象局. *农业气象观测规范(上卷)*. 北京: 气象出版社, 1993.
- [42] 魏凤英. *现代气候统计诊断与预测技术(第二版)*. 北京: 气象出版社, 2007: 105-234.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinpeng, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction SHEN Guofang (1891)

《生态学报》2014 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,280 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 魏辅文

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 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元