

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **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 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说：三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

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/stxb201211251668

李广泳, 李小雁, 赵国琴, 张志华, 李岳坦. 青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征. 生态学报, 2014, 34(11): 3038-3047.

Li G Y, Li X Y, Zhao G Q, Zhang Z H, Li Y T. Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 3038-3047.

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征

李广泳^{1,2}, 李小雁^{1,2,*}, 赵国琴², 张志华², 李岳坦³

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室北京师范大学资源学院, 北京 100875;

2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 植被物候不仅直接受气候变化的影响, 还反作用于气候变化。因此, 明确植被物候变化的驱动机制对于进一步研究气候变化与物候的相互作用具有重要的意义。选取位于青藏高原东北部的青海湖流域, 利用 MODIS 16d 增强植被指数 (EVI) 合成数据, 来分析草地物候时空格局特征以及不同 EVI_{max} 变化趋势下草地物候期 (返青期、枯黄期及生长季) 的变化趋势。研究得到以下结果: (1) 在气候变化和人类活动等因素的共同作用下, 青海湖流域的 EVI_{max} 变化呈现多元化趋势, EVI_{max} 增加、不变、降低趋势并存; (2) 1990—2012 年期间, 流域内温度上升、降水量增加趋势显著, 温度上升速率为 0.42—0.83 °C/10a, 降水量增加速率为 43.20—44.68 mm/10a。刚察、天峻气象站草地返青期在 2001—2012 年期间呈现延迟趋势, 枯黄期变化趋势不显著, 生长季呈现缩短趋势; (3) 流域内草地返青从 4 月下旬持续到 6 月上旬, 枯黄期从 8 月中旬持续到 10 月上旬, 青海湖东岸、南岸、布哈河入湖口区域以及流域西部山坡和平坦的谷底地区牧草最早进入返青期, 返青空间格局呈现由湖岸向四周高海拔地区延伸趋势, 草地枯黄空间格局与返青期相反; (4) 不同 EVI_{max} 变化趋势下, 草地返青期、枯黄期、生长季变化趋势表现出差异。草地 EVI_{max} 降低趋势下, 牧草返青期呈现提前趋势, 枯黄期延迟, 生长季延长; EVI_{max} 增加趋势下, 牧草返青期延迟, 枯黄期变化不明显, 生长季缩短; EVI_{max} 不变区, 农田的返青与枯黄期变化趋势并不明显, 但是农田生长季缩短趋势较明显。

关键词: 物候; 草地; 时空格局; EVI; 青海湖流域

Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed

LI Guangyong^{1,2}, LI Xiaoyan^{1,2,*}, ZHAO Guoqin², ZHANG Zhihua², LI Yuetan³

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Phenology is a critical feature of vegetation, and it could reflect the effects of climate variability and change on vegetation growth. There are complex feedbacks between vegetation phenology and climate change, therefore, researches on the driving mechanism of the change of vegetation phenology would provide a better understanding of the interactions between climate change and phenology. In this study, we selected Qinghai Lake watershed located in the northeastern of the Qinghai-Tibet Plateau as study area and used MODIS 16 days Enhanced Vegetation Index (EVI) composite data to analyze the spatiotemporal pattern and trend of grassland phenology (the start of the growing season, the end of growing season and days of growing season) under the different variations of EVI_{max} of grassland. The results of the study were concluded as:

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (41130640); 青海湖流域生态水文过程与水分收支研究

收稿日期: 2012-11-25; **网络出版日期:** 2014-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xyli@bnu.edu.cn

(1) The changes in EVI_{max} of grassland showed a diverse trend under the influence of climate change and human activities, an increasing, unchanged and a decreasing trend of EVI_{max} coexisted at the same time in the whole watershed. (2) Temperature and precipitation increased significantly from 1990 to 2012. Air temperature increased at the rate of 0.42—0.83 °C/10a, and precipitation increased at rate of 43.20—44.68 mm/10a. The date of the start of the growing season showed a delay trend around both Gangcha and Tianjun weather station, the date of the end of growing season showed no obvious change but the days of the growing seasons showed a shortening trend between 2001 and 2012. (3) The date of the start of the growing season lasted from April 20 to June 10 and the date of the end of growing season from Mid-August to September 10 in the Qinghai Lake watershed. The places have early dates of the start of the growing season include the eastern and southern lakesides of the Qinghai lake, Buha River estuary, hillslope and flat area of the valley in the western of the watershed. The date of the start of the growing season extended from lakeshore to the high-altitude areas, but vice versa for the date of the end of growing season. (4) Vegetation phenology showed different trend under the different variation of EVI_{max} . When the EVI_{max} decreased, the date of the start of the growing season advanced, the date of the end of growing season delayed and the days of the growing season increased. In contrast, the date of the start of the growing season delayed, the date of the end of growing season showed no obvious change and the days of the growing season shorten when the EVI_{max} increased. The farmland and the places without change in EVI_{max} had no obvious changes in the date of the start of the growing season and of the end of growing season, however, days of the growing season shorten for farmland. (5) The result suggests that the vegetation phenology change was a complex process, probably affected by multiple factors, such as grassland degradation caused by over-grazing, vegetation EVI_{max} increased under the climate change, enclosed grassland with unreasonable management, the vegetation ecosystem of succession and so on. Therefore, using of remote sensing data for vegetation phenology studies must distinguish dynamic changes of the vegetation of the different experimental samples firstly. Otherwise, it would affect the phenology study results.

Key Words: phenology; grassland; spatial and temporal patterns; EVI; the Qinghai Lake watershed

植被是联系大气圈、水圈和土壤圈的纽带,是物质能量交换的载体。植被返青期和枯黄期的改变直接决定生长季的长短,从而决定陆地生态系统每年的碳吸收量^[1],最终改变大气中 CO_2 含量。植被返青期的提前还导致春季土壤水分过多的消耗,从而影响夏季的气候^[2]。草地生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,占到全球陆地总面积的 40%,是陆地植被中重要的碳库。因此,研究草地生态系统物候的动态变化对于研究气候变化趋势下的碳固和植被对气候的反作用都具有重要的意义。

青藏高原素有“亚洲水塔”和“第三极”之称,其特殊的地势和地理位置对全球气候变化影响巨大^[3]。青海湖是位于我国青藏高原东北部最大的内陆咸水湖。Hao 认为青海湖流域的生态问题受多重因素的影响,是十分复杂的,因此,中国和美国的科学家都计划在这个区域展开更多生态领域的研究^[4]。随着气候变化趋势的加剧,众多学者研究发现青藏高原地区植被物候也发生改变。Yu 等人利

用 AVHRR 归一化植被指数 (NDVI) 数据对青藏高原植被物候进行研究,认为从 20 世纪 90 年代中期以来,随着冬、春季气候变暖,青藏高原植被返青出现了延迟的现象,草甸枯黄期没有明显变化,而草原枯黄期呈现提前趋势^[5]。而丁明军等人结合青藏高原典型台站气象观测数据研究显示,1982—2009 年青藏高原植被返青呈现提前趋势,尤其在 20 世纪 90 年代中期以后,植被返青期显著提前,并表现出与冬、春季气温和降水具有明显的负相关性^[6]。宋春桥等人采用 MODIS EVI 数据对藏北高原典型植被物候变化研究发现,2001—2010 年期间藏北植被呈现返青提前趋势,枯黄期的年际变化只表现出自然的年际波动,生长季延长。他认为这与 Yu 等人的研究出现差异可能与选取的样地具体位置、研究时间尺度和参照的时间基准有关^[7]。总之,当前大部分针对青藏高原植被物候变化的研究都将其动态变化归咎于气候变化,并没有进一步考虑影响植被物候的其他因素,如霜冻、辐射、冰雪覆盖时间和植物生理

特性^[8]。藏北高原植被物候动态变化趋势在时空上表现出差异,呈现返青期(枯黄期)提前与延迟趋势、生长季延长与缩短趋势在空间上并存^[9],这说明了气候变化趋势下,植被物候还受其他因子的影响。植被物候受气候变化影响的同时,也控制了许多反馈植被气候系统的指标,如季节性反照率、地表粗糙度、树冠电导和通量、水、二氧化碳和生物挥发性有机化合物等^[10]。Chen 等人认为,青藏高原植被返青延迟还可能归结于其他原因,如草地退化、永久性冻土和季节性冻土的融化^[11]。而当前对于草地退化是否影响植被物候,且不同植被退化趋势下植被物候的动态变化趋势还尚不明确。

当前在青藏高原开展的植被物候变化趋势研究中,采用传统目视观测法选取的观测点多为禁牧或封育状态下的草地^[12-13],不能反映长时间序列下不同草地植被活动状态趋势下的植被物候动态变化特征,譬如不同草地退化趋势和草地覆盖度增加趋势下物候变化特征,遥感观测法在提取物候数据时同样没有考虑长时间序列的植被动态变化趋势。在当今气候变化趋势和人类活动等因素的共同扰动下,青藏高原植被动态呈现两极变化趋势^[14],即温度升高和降雨量的增加使气候变化更利于植被活动,表

现为植被覆盖度增加;而过度放牧等人类不合理的草地利用方式又导致草地退化,降低草地覆盖度^[14-16]。因此,本研究选取不同草地植被动态时空变化趋势的区域为研究样点,分析其植被返青、枯黄期和生长季的变化趋势,不仅为前人在青藏高原展开物候研究得到的不同结论提出合理的解释,更为植被物候动态变化驱动机制研究提供可靠的依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

青海湖流域位于青藏高原的东北部,总面积为 29661 km²。年均温度 -1.1—4.0 °C,多年平均降水量为 291—579 mm,呈现从东南向西北递减的趋势,降水主要集中在每年的 5—9 月份,历年逐月最大降雨量主要集中在 7 月份^[17]。流域内地形条件复杂,地势由流域西北部向青海湖递减,最高海拔达到 5200 m,高差达 2200 m。植被类型以草原和草甸为主,占到流域总面积的 60%以上,灌丛主要沿河岸零星分布。流域内主要有 5 条河流,青海湖 83% 的水来源于这 5 条河流,其中最大的河流为布哈河,其次为沙柳河,两条河流覆盖流域的整个西部区域(图 1)。

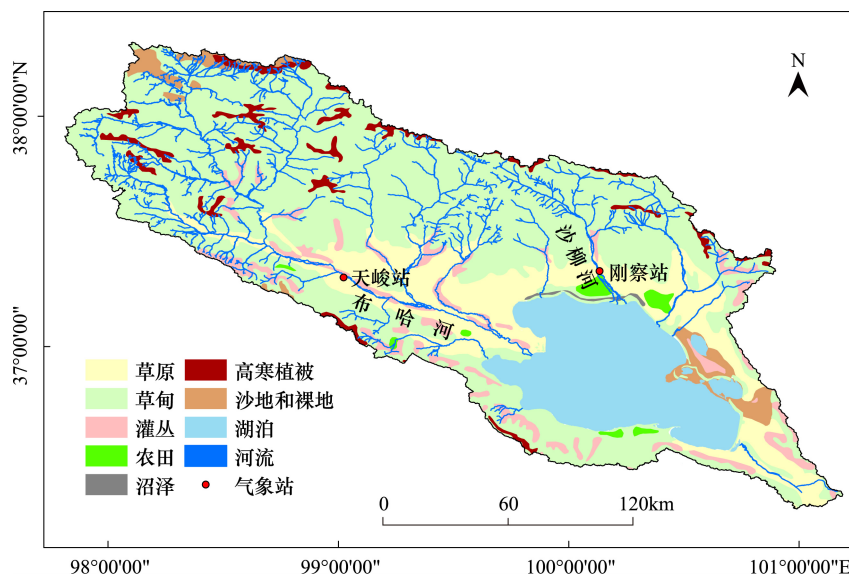


图 1 青海湖流域植被类型和气象站位置图

Fig.1 Vegetation types of the Qinghai Lake watershed and locations of weather stations

1.2 数据来源

青海湖流域植被类型数据来源于中国生态系统与生态功能区划数据库 (<http://www.ecosystem.csd.cn>).

cn/ecosys/index.jsp)。流域内有两个国家级气象站,刚察站和天峻站,研究过程中涉及的年均温度、年降水量、观测植被物候数据均来源于 2 个气象站。EVI

与 NDVI 相比降低了来自土壤和大气的干扰,对植被冠层结构(叶面积指数、冠层类型、冠层结构等)都特别敏感,是一个优化了的植被指数,已经广泛应用到植被物候研究中,取得了很好的效果^[18-19]。本研究选用美国 EOS/MODIS 数据中心提供的 16 天合成 EVI (MOD13Q1) 数据,空间分辨率为 250 m × 250 m。

1.3 研究方法

应用 MODIS Reprojection Tools (MRT) 对 MODIS 影像进行波段提取、重投影、剪切,来获取研究所需要的 EVI 序列数据。TIMESAT 3.0 软件是基于 Matlab 环境下开发的研究植被指数年序变化和空间格局的新工具^[20]。本文应用该软件中的非对称高斯函数法对 11a MODIS 16d EVI 合成数据进行拟合处理,选用动态阈值法提取实验样点 2001—2011 年草地返青期、枯黄期和生长季数据。阈值的设定受人为主观影响较大^[21],宋春桥等人根据藏北高原地区植被特征将返青期 EVI 阈值设为 0.1,枯黄期设为 0.2^[7,9];YU 等人将返青期 NDVI 阈值设为 0.2,枯黄期设为 0.6^[5]。本研究结合青海湖流域草地实际返青期数据,经过多次调整后,将青海湖流域草地返青期的阈值设置为 0.1,枯黄期阈值设置为 0.5。

一元回归趋势法^[22]是应用 ARCGIS 栅格计算功能,基于栅格单元来分析 EVI_{max} 逐年的变化趋势,从而反映草地 EVI_{max} 时空动态变化特征。其计算公式如下:

$$K_{\text{SLOPE}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{EVI}_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{EVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中, n 是研究期总年数; i 为研究期中第 i 年; EVI_i 为第 i 年的最大值; K_{SLOPE} 为一元回归斜率值。 $K_{\text{SLOPE}} > 0$, 说明 EVI_{max} 呈现增加趋势, 数值越大, 增加趋势越明显; $K_{\text{SLOPE}} < 0$, 说明 EVI_{max} 呈现降低趋势, 数值越小, 降低趋势越明显。

2 结果分析与讨论

2.1 流域草地动态变化趋势

草地退化最显著的标志就是植被覆盖度的降低^[23], 植被覆盖度的降低不仅会增加地表反照率, 使地表温度下降, 还会改变土壤含水量^[2,11,24], 而地

表温度、土壤含水量是决定着植被物候的两个关键因子^[10]。草地退化还导致地表植被物种组成改变, 不同的物种物候特征也存在差别^[25-26]。为了分析草地退化与植被物候关系及不同退化趋势下植被物候的变化倾向, 本研究在青海湖流域选取不同 EVI_{max} 变化趋势样点, 进行植被物候变化分析。由于青海湖流域面积较已有植被退化趋势领域的相关研究面积小^[27-28], 按照已有范围和退化等级^[29]划分 EVI_{max} 变化趋势, 会出现个别等级区域没有集中连片分布, 而呈现单个栅格的现象。为了更好的显示青海湖流域植被 EVI_{max} 空间的动态变化趋势, 提高 TIMESAT 软件栅格数据提取的准确度, 参照已有研究^[27], 将植被 EVI_{max} 动态变化趋势划分成 5 个等级(表 1)。实验样点分别选取在 5 个等级中 EVI_{max} 变化趋势较为一致的区域, 同时增加两个特殊实验样点, 分别是退耕还草和农田样点(图 2)。

表 1 EVI_{max} 变化趋势分级表
Table 1 Grading table of EVI_{max} change

EVI _{max} 变化趋势 EVI _{max} change	变化程度 Degree of change
重度退化 Severe degradation	$K_{\text{SLOPE}} > 0$
中度退化 Moderately degradation	$-0.01 < K_{\text{SLOPE}} \leq -0.005$
基本不变 Unchanged	$-0.005 < K_{\text{SLOPE}} \leq 0.005$
中度增加 Moderately increased	$0.005 < K_{\text{SLOPE}} \leq 0.01$
显著增加 Significantly increased	$K_{\text{SLOPE}} > 0.01$

通过图 2 可以看出, 在气候变化和人类活动等多重因素共同影响下^[30], 青海湖流域植被 EVI_{max} 时空变化差距比较大, 布哈河中、上游地区出现了 EVI_{max} 增长的趋势, 尤其在天峻气象站周围, EVI_{max} 呈现大面积显著增加趋势; 在青海湖流域的北部区域, 却出现了大面积 EVI_{max} 下降区域, 尤其是青海湖农场退耕还草区, EVI_{max} 显著下降。当青海湖农场退耕还草且实行长达 10a 禁牧后, 往年枯草没有进行清除, 大量枯草的覆盖阻碍了新草的生长^[4], 最终导致封育草地呈现退化趋势。位于青海湖北岸和南岸的农田区, 以种植青稞、油菜为主, EVI_{max} 增长趋势较为显著。青海湖湖岸东北部的沙地区域, 植被难以生长, 覆盖度较低, 长期没有改善, EVI_{max} 基本保持不变。

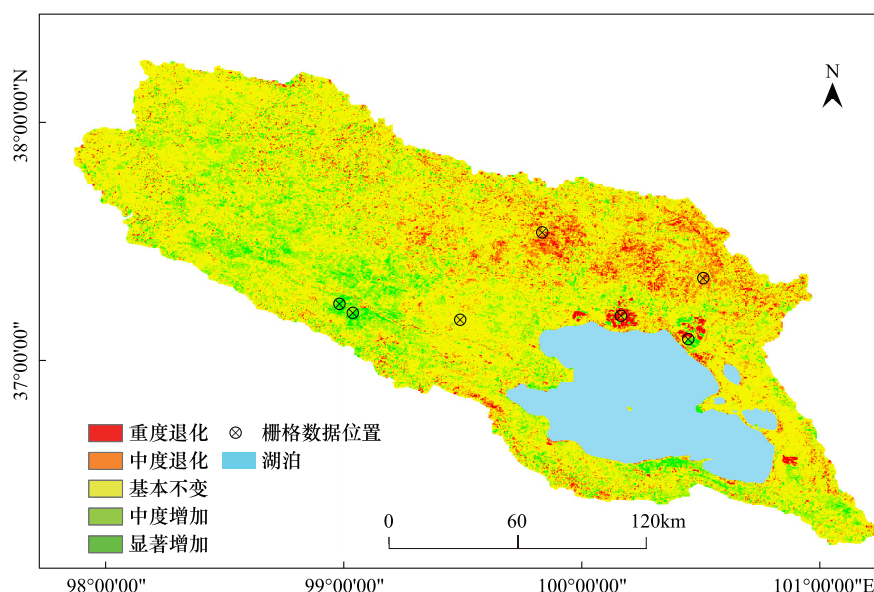


图2 青海湖流域 EVI_{max} 动态变化及实验样点位置图

Fig.2 The dynamic variation of EVI_{max} in the Qinghai Lake watershed and locations of experimental samples

2.2 流域草地物候空间格局

青海湖流域草地返青期从每年的4月下旬延续到6月上旬,最早进入返青期的区域集中分布在青海湖东岸、南岸以及布哈河入湖口区(图3a)。但是上述区域平均海拔在3200 m,温度较高,且土壤水分条件良好,因此是环湖区最早进入返青期区域。流域西北部草地也存在返青比较早的区域,主要分布在西部山坡和谷底平坦地区。该区域是布哈河的源头,山顶多被冰雪覆盖,山坡和谷底多冻土层,是雨季来临之前布哈河主要水分来源。因此,当温度升高时,山顶冰雪融水在山坡和谷底汇集,使周围土壤水分增加,地表植被能够较早的进入返青状态。随着时间的推移,温度逐渐升高,降水量增加,植被返青趋势开始向流域北部和西部高海拔地区扩展。5月中旬流域内北部、西部海拔较低的区域植被开始进入返青阶段;5月下旬,流域大部分区域草地都进入返青期。进入返青期最晚的草地主要分布在流域西北部降雨较少的高海拔区域。青海湖北岸和南岸农田,以种植油菜、青稞为主。农户一般在每年的6月初开始种植农作物,因此,这两块区域成为流域内植被返青较晚的区域。

进入秋季(8月上旬),青海湖流域温度逐渐降低,高海拔地区降水开始以降雪的形式降落到地表,草地进入枯黄期。草地枯黄期从每年的8月中旬持续到10月上旬,最早进入枯黄期的区域集中在流域

的北部和西部区域(图3b)。流域内草地进入枯黄期时间的空间格局大体上和返青期空间格局相反,从西部和北部区域向青海湖周围萎缩,最晚枯黄的区域集中在青海湖湖岸四周和布哈河主河道周围。10月上旬,流域所有植被基本都进入枯黄期。青海湖流域的农田作物一般在7月中、下旬开花,8月上旬开始结果,随后转入枯黄阶段,因此农田一般在8月底就陆续进入枯黄期,是青海湖环湖区最早进入枯黄期的植被。

从图3c可以看出,青海湖流域西部草地返青晚、枯黄早的区域生长季较短,大约只有80d。草地生长季最长的区域集中分布在青海湖东岸、南岸、布哈河入湖口和西部山坡、谷底区域,这与草地返青最早分布地区一致,生长季最长达到170d。农田进入返青期较周围草地晚,而农田作物枯黄期来临却比草地早,因此,农田种植的农作物成为青海湖周围生长季较短的植被类型。

2.3 植被物候与温度、降雨的关系

2.3.1 年均温度和降水量变化趋势

根据刚察、天峻气象站观测的年均温度和年降水量数据显示,刚察和天峻站自20世纪90年代以来,刚察($P<0.01$)、天峻($P<0.01$)温度均呈现显著上升趋势(图4),分别以 $0.42\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.83\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率上升,远高于青藏高原 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的上升速率^[31-32],尤其是天峻气象站,温度升高速率接近青藏

高原温度上升速率的 3 倍。刚察 ($P < 0.05$)、天峻 ($P < 0.05$) 气象站年降水量自 1990s 后也均呈现增加趋势(图 4), 增加速率分别为 43.20 mm/10a 和 44.68 mm/10a, 明显高于青藏高原 17.46 mm/10a 的降水增

加量^[27]。尤其是 2000 年以来, 刚察县年均降水量约 400 mm, 达到了半湿润地区的年降水量标准。青海湖流域气候暖湿趋势逐渐明显^[33], 这和整个青藏高原气候变化趋势一致^[34]。

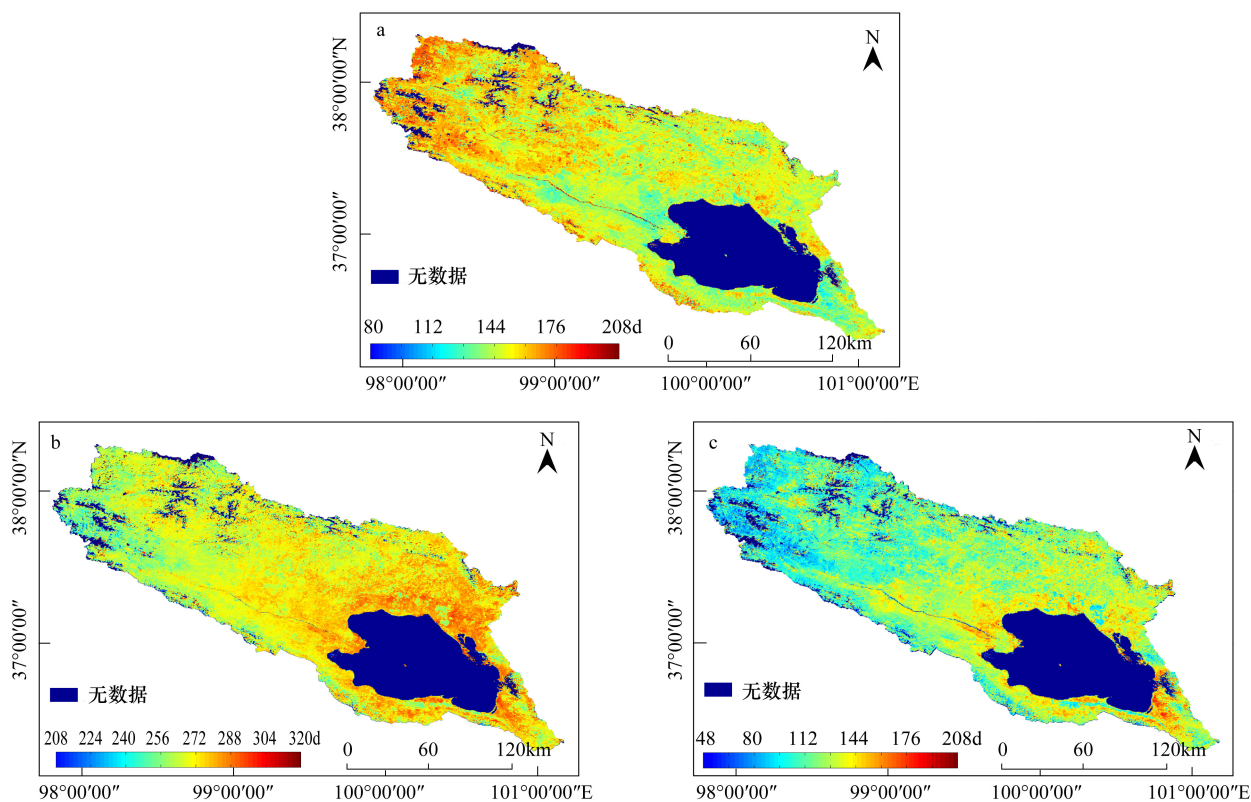


图 3 青海湖流域植被返青期(a)、枯黄期(b)及生长季(c)空间格局图

Fig.3 Space pattern of begin of growing season (a), end of growing season (b), and growing season (c) in Qinghai Lake watershed

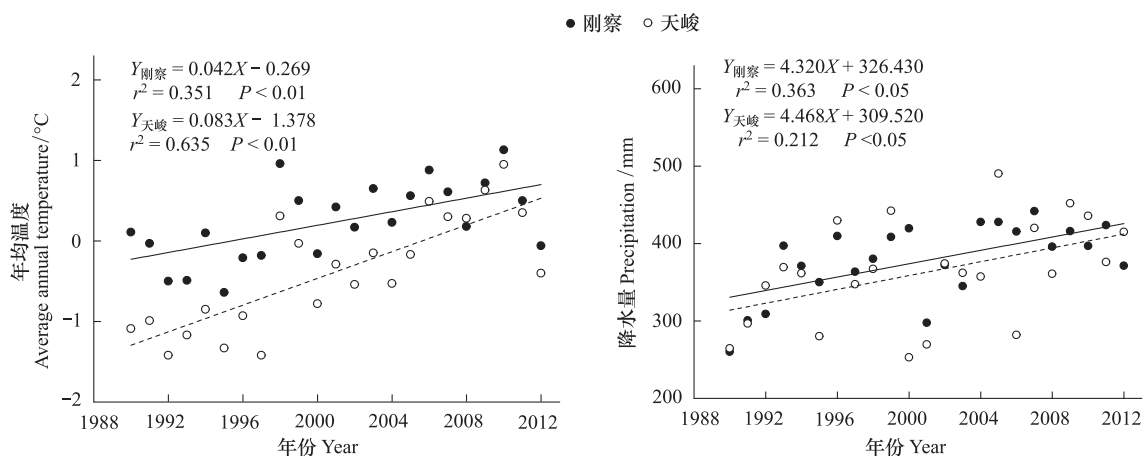


图 4 青海湖流域年均温度和年降水量变化趋势(1990—2012)

Fig.4 Trend of the average annual temperature and annual precipitation in Qinghai Lake watershed

2.3.2 植被物候变化趋势分析

刚察、天峻气象站观测草地返青数据为 2003—2012 年度, 分别利用已有返青期、枯黄期数据, 选取

相关性指标进行拟合得到 2001、2002 年天峻 ($R^2 = 0.977$, $R^2 = 0.865$)、刚察 ($R^2 = 1.00$, $R^2 = 0.836$) 返青期、枯黄期数据。由图 5 可以看出, 2001—2012 年期

间,刚察、天峻两个气象站草地返青期波动比较大,都呈现返青延迟趋势(4.8 d/10a, 4.3 d/10a),其结果与 Yu 等人研究的 20 世纪 90 年代中期以后整个青藏高原植被返青期变化趋势一致^[5]。刚察气象站返青期最早时间与最晚时间相差 21d,最晚返青期出现在 2012 年;天峻气象站返青期最早返青期与最晚返青期相差为 24d,最晚返青期出现在 2007 年。刚察、天峻气象站草地枯黄期自然波动都不是太大,变化

趋势虽然相反但是并不明显。天峻站草地枯黄期呈现提前趋势,尤其在 2012 年,天峻站草地枯黄期提前到了 251d(9 月 8 日),而刚察站草地枯黄期呈现轻微的延迟趋势。草地返青期和枯黄期的变化决定着草地生长季的长短。刚察、天峻气象站草地生长季都呈现缩短趋势,尤其是天峻气象站,草地生长季缩短速率为 9.0 d/10a,较刚察气象站 4.7 d/10a 明显。

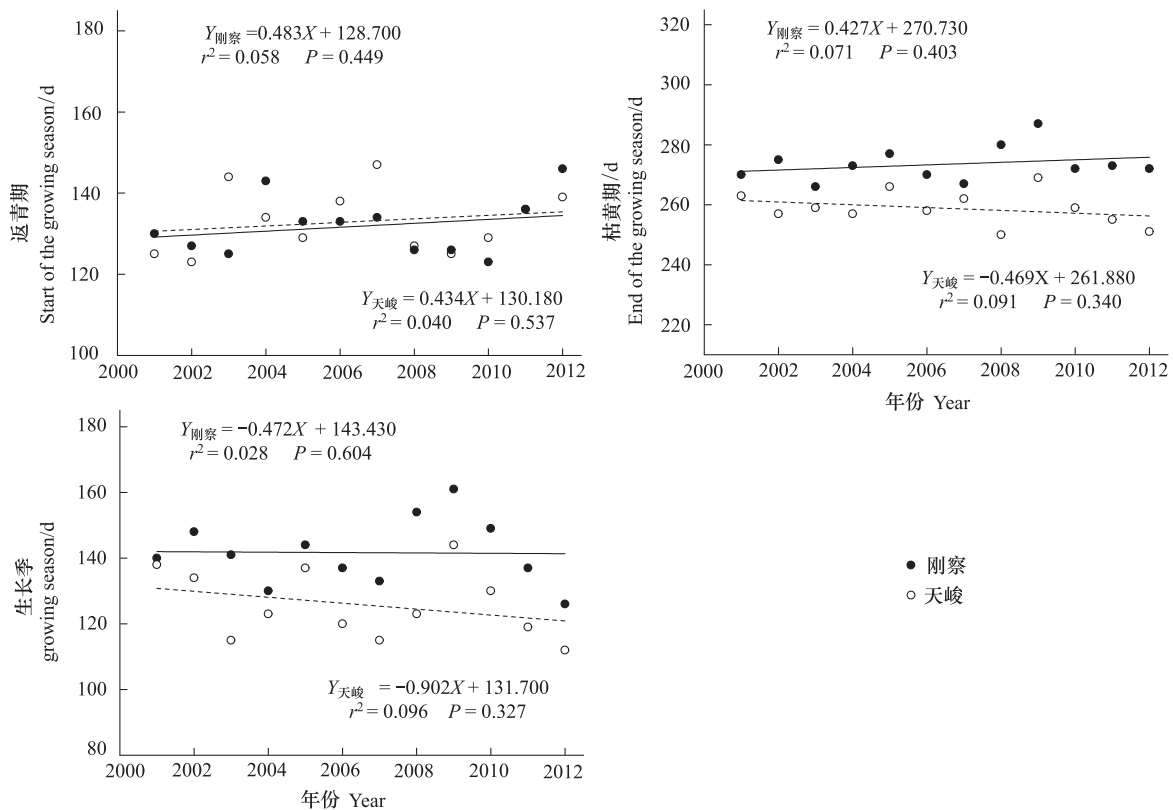


图5 刚察、天峻气象站草地物候变化趋势(2001—2012年)

Fig.5 Phenology trends of Tianjun and Gangcha weather station

2.4 不同 $EVI_{\max}$ 变化趋势下的草地物候变化特征

根据表 2 不同实验样点返青期一元线性回归分析可以得出,不同的 $EVI_{\max}$ 变化趋势下,2001—2010 年期间青海湖流域草地返青期年际变化趋势存在差异。实验样点返青期提前趋势整体表现为退耕还草区>重度退化区>中度增加区>中度退化区,返青期延迟趋势为显著增加区>农田>基本不变区。 $EVI_{\max}$ 显著降低的重度退化、退耕还草区呈现返青期较明显的提前趋势,而 $EVI_{\max}$ 显著增加区域、农田呈现返青延迟的迹象。除中度增加区外,返青期整体上呈现当 $EVI_{\max}$ 表现为降低趋势时,植被返青期倾向提前趋势,反之呈现延迟趋势。通过上述分析说明,不

同的 $EVI_{\max}$ 变化趋势(植被盖度)影响到地面能量平衡,改变了地表感热、潜热通量与土壤水含量^[10],最终影响到植被返青。

当前对青藏高原地区草地的枯黄期变化趋势研究结论分歧较大。有研究结果表明,气候变化趋势下草地枯黄期变化趋势并不明显,只是自然的年际波动^[9];也有研究认为牧草枯黄期提前趋势显著^[35]。根据表 2 枯黄期一元线性回归方程显示,不同 $EVI_{\max}$ 变化趋势下草地枯黄期提前趋势并不明显,而退耕还草区、重度退化区和中度增加区植被枯黄延迟趋势却较为明显,尤其是退耕还草区,在 2001—2010 年期间,枯黄期延迟 21d。结合刚察、天

峻气象站(EVI_{max} 呈现增加趋势)观测牧草枯黄数据和显著增加区拟合数据,可以认为当 EVI_{max} 处于增加趋势时,牧草枯黄期变化趋势并不明显,而 EVI_{max} 降低的区域,牧草枯黄期更倾向于延迟趋势。

植被返青期和枯黄期的波动,改变着植被的生长季。通过表2可以看出,重度退化、退耕还草区草地生长季都呈现明显的延长趋势,2001—2010年期间退耕还草区生长季延长50d,这就表明草地退化或草地 EVI_{max} 的显著降低趋势下,草地生长季表现出明显的延长趋势。 EVI_{max} 显著增加区和农田的植被生长季呈现缩短趋势,且最大缩短20d,这和刚察、天峻气象站观测草地生长季变化趋势一致。郭连云等人选取青藏高原三江源区封育牧草地(在草地生育期结束后,对样地内枯草进行了放牧采食处理),对牧草在温度升高、降水量增加趋势下物候变化进行了分析,同样得到生长季缩短的结论^[35]。因此,可以认为在 EVI_{max} 增加的区域,牧草的生长季呈现缩短趋势。这主要可能是由于温度升高,降水量增加,更有利于植被的生长,使牧草能够较快的完成各生育阶段(返青、开花、抽穗、成熟和枯黄),最终缩短了

生长季。而朱宝文等人在青海湖北岸牧业气象观测站连续12a对牧草的生长季进行观测,得到牧草的返青期提前,枯黄期延迟,整个生长季呈现延长趋势的结论^[12],这可能与试验样地里的枯草没有得到及时清理,从而影响到下一生长季牧草的生长,试验地牧草呈现退化趋势有关。

不同 EVI_{max} 变化趋势下草地返青期、枯黄期及生长季的动态变化趋势的差异,从另一个方面也说明了植被物候变化是一个复杂的过程,受到多重因子的影响,其中过度放牧导致的草地退化、气候变化趋势下的 EVI_{max} 增加、封育草地不合理的管理方式等造成的草地地表能量平衡的变化,最终会反作用于植被物候。而在前人利用遥感数据对植被物候动态变化及其与气候变化的关系研究中选取样点时,没有考虑到所选实验点 EVI_{max} 动态变化的差异会反作用于植被物候^[5,7,9,16]。因此,在利用遥感数据进行植被物候的研究时,必须对不同实验样点的植被动态变化进行区分,否则会导致研究结果与真实值之间存在较大误差。

表2 不同实验样点草地物候期线性回归拟合公式表

实验样点类型	返青期 Start of the growing season		枯黄期 End of growing season		生长季 Growing season	
	方程 Equation	R^2	方程 Equation	R^2	方程 Equation	R^2
重度退化	$Y = -3.000X + 153.000$	0.323	$Y = 0.758X + 267.533$	0.032	$Y = 3.752X + 114.467$	0.374
中度退化	$Y = -1.036X + 147.400$	0.024	$Y = -0.006X + 274.133$	0.000	$Y = 1.079X + 126.467$	0.024
基本不变	$Y = 0.418X + 131.800$	0.007	$Y = 0.164X + 287.200$	0.009	$Y = -0.224X + 155.133$	0.002
中度增加	$Y = -1.891X + 154.800$	0.067	$Y = 0.952X + 263.667$	0.148	$Y = 2.764X + 109.400$	0.111
显著增加	$Y = 2.594X + 117.733$	0.207	$Y = 0.248X + 278.933$	0.015	$Y = -2.236X + 160.800$	0.149
退耕还草	$Y = -3.345X + 171.000$	0.260	$Y = 2.358X + 260.133$	0.441	$Y = 5.642X + 89.267$	0.433
农田	$Y = 0.691X + 164.200$	0.019	$Y = -0.533X + 271.733$	0.023	$Y = -1.224X + 107.533$	0.148

重度退化 Severe degradation; 中度退化 Moderately degradation; 基本不变 Unchanged; 中度增加 Moderately increased; 显著增加 Significantly increased; 退耕还草 Farmland to grasslands ; 农田 Farmland

3 结论

本研究选取青海湖流域为研究区域,利用MODIS合成影像数据,分析了流域植被 EVI_{max} 、返青期、枯黄期和生长季的时空格局变化以及不同 EVI_{max} 变化趋势下草地、退耕还草地和农田的返青期、枯黄期和生长季的动态变化,主要得到以下结论:

(1)在气候变化和放牧活动等因素的综合影响

下,青海湖流域植被 EVI_{max} 在时空上不仅出现了严重退化的区域,还出现了 EVI_{max} 显著增加的区域。 EVI_{max} 降低的区域主要集中分布在流域的北部,增加的区域主要分布在流域西部的布哈河中下游地区。流域内的农田在气候变化趋势下,也呈现 EVI_{max} 增加趋势。研究结果还显示,退耕还草后,如不对草地进行合理的管护,长期的禁牧同样导致 EVI_{max} 的降低,呈现明显的草地退化趋势。

(2)流域内的草地返青期在空间格局上存在差

异,返青期最早为每年的4月下旬,最早进入返青期的区域在青海湖湖岸东侧、南侧、布哈河下游区域以及流域西部山坡和平坦的谷底地区,随着时间的推移,返青趋势向流域北部、西部高海拔地区蔓延,6月中旬流域草地全部返青。草地进入枯黄期最晚的区域和最早返青的区域基本吻合,枯黄趋势由西部、北部高海拔地区向青海湖湖岸周围延伸,10月上旬,流域草地全部进入枯黄期。流域内草地生长季大约在80—170d之间,在空间格局除了具备草地返青期和枯黄期两者的格局特征外,在布哈河、沙柳河河道周围区域也表现出较长的生长季。

(3)实验样点草地 EVI_{max} 的增加、降低或保持不变的趋势都影响着植被物候期。 EVI_{max} 显著降低的区域(重度退化和退耕还草区)草地返青显著提前,枯黄期推迟,最后导致生长季的延长。草地 EVI_{max} 显著增加区域返青期和枯黄期都表现延迟趋势,但是返青期延迟趋势比枯黄期延迟趋势更加明显,因此生长季表现出缩短趋势。草地 EVI_{max} 中度增加和中度退化区返青期提前趋势一致,而枯黄期出现略微差别,因此最终表现为中度增加区生长季延长趋势更加明显。草地 EVI_{max} 不变区、农田区的返青与枯黄期虽然变化趋势并不明显,但是农田区返青期延迟趋势和枯黄期提前趋势较基本不变区明显,因此农田区农作物生长季缩短趋势更明显一些。

由于受研究区域和 MODIS 影像资料的限制,研究中也存在不足之处。首先是由于青海湖流域地形复杂,面积较小,选取大面积的 EVI_{max} 变化趋势一致的区域比较困难。因此,在提取实验样点物候数据时,只能选取 EVI_{max} 变化趋势明显一致的几个栅格数据来进行分析,这就不能更全面的代表整个流域内同一类 EVI_{max} 变化趋势下的植被返青、枯黄期动态变化;其次是草地物候数据时间序列有限。气象站草地物候观测数据与 MODIS 实验样点提取物候数据时间序列仅有大约 10a。因此,在数据研究的时间尺度上两者都较短,研究结果不能更准确的说明 EVI_{max} 变化与植被返青、枯黄期动态变化的关系。

References:

- [1] Gu L H, Post W M, Baldocchi D, Black T A, Verma S B, Vesala T, Wofsy S C. Phenology of vegetation photosynthesis. *Phenology: An Integrative Environmental Science*, 2003, 39: 467-485.
- [2] Seneviratne S I, Corti T, Davin E L, Hirschi M, Jaeger E B, Lehner I, Orlowsky B, Teuling A J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 2010, 99: 125-161.
- [3] Mo S G, Zhang B P, Cheng W M, Tan Y, Xiao F, Wu H Z. Major environmental effects of the Tibetan Plateau. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 88-96.
- [4] Hao X. A Green Fervor Sweeps the Qinghai-Tibetan Plateau. *Science*, 2008, 321: 633-635.
- [5] 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*, 2010, 107 (51): 22151-22156.
- [6] Ding M J, Zhang Y L, Liu L S, Wang Z F. Spatiotemporal changes of commencement of vegetation regreening and its response to climate change on Tibetan Plateau. *Advances in Climate Change Research*, 2011, 7(5): 317-323.
- [7] 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): 1045-1955.
- [8] Studer S, Stöckli R, Appenzeller C, Vidale P L. A comparative study of satellite and ground-based phenology. *International Journal of Biometeorology*, 2007, 51: 405-414.
- [9] Song C Q, You S C, Ke L H, Liu G H, Zhong X K. Spatio-temporal variation of vegetation phenology in the Northern Tibetan Plateau as detected by MODIS remote sensing. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(8): 853-863.
- [10] Richardson A D, Keenan T F, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O, Toomey M. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology* 2013, 169(15): 156-173.
- [11] Chen H, Zhu Q, Wu N, Wang Y F, Peng C H. Delayed spring phenology on the Tibetan Plateau may also be attributable to other factors than winter and spring warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(19): E93.
- [12] 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*. *Pratacul Tural Science*, 2011, 28 (7): 1357-1363.
- [13] Yao Y B, Zhang X Y, Duan Y L. Study on the relationship between grass growth and meteorological conditions in subalpine meadow. *Pratacultural Science*, 2009, 26(3): 43-47.
- [14] Yu H Y, Xu J C. Effects of climate change on vegetations on Qinghai-Tibet Plateau: A review. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(4): 747-754.
- [15] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, Jolly W M, Piper S C, Tucker C J, Myneni R B, Running S W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 300(5625): 1560-1563.
- [16] Ding M J, Zhang Y L, Liu L S, Wang Z F. Temporal and spatial distribution of grassland coverage change in Tibetan Plateau since 1982. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(12): 2114-2122.
- [17] Li X Y, Ma Y J, Xu H Y, Wang J H, Zhang D S. Impact of land use and land cover change on environmental degradation in Lake Qinghai watershed, northeast Qinghai-Tibet Plateau. *Land Degradation & Development*, 2009, 20(1): 69-83.
- [18] Gao X, Huete A R, Ni W, Miura T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 74(3): 609-620.

- [19] Zhang X Y, Friedl M A, Schaaf C B, Strahler A H, Hodges J C F, Gao F, Reed B C, Huete A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(3): 471-475.
- [20] Jönsson P, Eklundh L. TIMESAT- a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, 2004, 30(8): 833-845.
- [21] Wu Y F, He C Y, Ma Y, Li J, Zhang Y L. The comparison of the current remote sensing based vegetation greenup detection methods with the computer simulation. *Advances in earth science*, 2005, 20(7): 724-731.
- [22] Stow D, Daeschner S, Hope A, Douglas D, Petersen A, Myneni R, Zhou L, Oechel W. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5): 1111-1117.
- [23] Liu J Y, Xu X L, Shao Q Q. The spatial and temporal characteristics of grassland degradation in the Three-River Headwaters region in Qinghai province. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(4): 364-376.
- [24] Feng C, Gu S, Zhao L, Xu S X, Zhou H K, Li Y N, Xu W X, Wu L B. Albedo characteristics of degraded grassland ecosystem in the source region of three rivers in Qinghai-Tibetan plateau. *Plateau Meteorology*, 2010, 29(1): 70-77.
- [25] Wang W Y, Wang Q J, Wang H C. The effect of land management on plant community composition, species diversity, and productivity of alpine *Kobersia* steppe meadow. *Ecological Research*, 2006, 21(2): 181-187.
- [26] Menzel A, Sparks T H, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Almkübler K, Bissolli P, Braslavská O, Briede A, Chmielewski F M, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl A, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jactzak K, Mage F, Mestre A, Nordli Ø et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 2006, 12(10): 1969-1976.
- [27] Song Y, Ma M G. Study on vegetation cover change in northwest China based on SPOT VEGETATION data. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1): 89-93.
- [28] Li S S, Yan J P, Wan J. The spatial-temporal changes of vegetation restoration on Loess Plateau in Shaanxi-Gansu-Ningxia region. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(7): 960-970.
- [29] Gao Q Z, Li Y E, Lin E D, Jiang C W Z, Wan Y F, Xiong W, Wang B S, Li W F. Temporal and spatial distribution of grassland degradation in northern Tibet. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 965-973.
- [30] Harris R B. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: A review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(1): 1-12.
- [31] Zhang T R, Yan L D, Zhang F, Li C S, Dong Z H, Chai X M, Li Z Z. The impacts of climate change on the natural pasture grass in Qinghai province. *Plateau Meteorology*, 2007, 26(4): 724-731.
- [32] Li Z G. Glaciers and lakes changes on the Qinghai-Tibet Plateau under climate change in the past 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(8): 1431-1443.
- [33] Yi W J, Li X Y, Cui B L, Ma Y J. Climate change and impact on water level of the Qinghai Lake watershed. *Journal of Arid Meteorology*, 2010, 8(4): 375-383.
- [34] Shi Y F, Shen Y P, Li D L, Zhang G W, Ding Y J, Hu R J, Kang E S. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(2): 152-164.
- [35] 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 Science*, 2011, 28(4): 618-625.

参考文献:

- [3] 莫申国, 张百平, 程维明, 谭娅, 肖飞, 武红智. 青藏高原的主要环境效应. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 88-96.
- [6] 丁明军, 张德铨, 刘林山, 王兆锋. 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.
- [7] 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.
- [9] 宋春桥, 游松财, 柯灵红, 刘高焕, 钟新科. 藏北高原植被物候时空动态变化的遥感监测研究. *植物生态学报*, 2011, 35(8): 853-863.
- [12] 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.
- [13] 姚玉璧, 张秀云, 段永良. 亚高山草甸类草地牧草生长发育与气象条件的关系研究. *草业科学*, 2009, 26(3): 43-47.
- [14] 于海英, 许建初. 气候变化对青藏高原植被影响研究综述. *生态学杂志*, 2009, 28(4): 747-754.
- [16] 丁明军, 张德铨, 刘林山, 王兆锋. 1982—2009年青藏高原草地覆盖度时空变化特征. *自然资源学报*, 2010, 25(12): 2114-2122.
- [21] 武永峰, 何春阳, 马琰, 李京, 张业利. 基于计算机模拟的植物返青期遥感监测方法比较研究. *地球科学进展*, 2005, 20(7): 724-731.
- [23] 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近30年来青海三江源地区草地退化的时空特征. *地理学报*, 2008, 63(4): 364-376.
- [24] 冯超, 古松, 赵亮, 徐世晓, 周华坤, 李英年, 徐维新, 吴力博. 青藏高原三江源区退化草地生态系统的地表反照率特征. *高原气象*, 2010, 29(1): 70-77.
- [27] 宋怡, 马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 89-93.
- [28] 李双双, 延军平, 万佳. 近10年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征. *地理学报*, 2012, 67(7): 960-790.
- [29] 高清竹, 李玉娥, 林而达, 江村旺扎, 万运帆, 熊伟, 王宝山, 李文福. 藏北地区草地退化的时空分布特征. *地理学报*, 2005, 60(6): 965-973.
- [31] 张钦仁, 颜亮东, 张峰, 李朝生, 董章杭, 柴秀梅, 李自珍. 气候变化对青海天然牧草影响研究. *高原气象*, 2007, 26(4): 724-731.
- [32] 李治国. 近50a气候变化背景下青藏高原冰川和湖泊变化. *自然资源学报*, 2012, 27(8): 1431-1443.
- [33] 伊万娟, 李小雁, 崔步礼, 马育军. 青海湖流域气候变化及其对湖水位的影响. *干旱气象*, 2010, 28(4): 375-383.
- [34] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 张国威, 丁永建, 胡汝骥, 康尔泗. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨. *第四纪研究*, 2003, 23(2): 152-164.
- [35] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck
..... YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)

- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles
..... LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)

Population, Community and Ecosystem

- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area
..... HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)

- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)
cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)

- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology
..... LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)

Landscape, Regional and Global Ecology

- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)

- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years
..... YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)

- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed
..... LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)

- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ...
..... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)

- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area
..... PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)

- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir
..... ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)

- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)

Urban, Rural and Social Ecology

- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis
..... TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)

- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province
..... HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)

- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone
..... HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)

- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences
..... LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《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

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 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 11 (June, 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