

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 2012

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第4期 2012年2月 (半月刊)

## 目 次

围垦对南江东滩湿地大型底栖动物的影响.....	马长安,徐霖林,田伟,等 (1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价 .....	孙才志,杨磊 (1016)
京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征 .....	侯勇,高志岭,马文奇,等 (1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟.....	高照全,冯社章,张显川,等 (1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应.....	宋春桥,游松财,柯灵红,等 (1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应 .....	唐振兴,何志斌,刘鹤 (1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素.....	田风霞,赵传燕,冯兆东,等 (1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应.....	尚建勋,时忠杰,高吉喜,等 (1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程.....	马井会,顾松强,陈敏,等 (1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系 .....	田丰歌,徐兆礼 (1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状.....	张跃环,王昭萍,闫喜武,等 (1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征.....	李慧,王江涛 (1115)
起始生物量比对3种海洋微藻种间竞争的影响.....	魏杰,赵文,杨为东,等 (1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅.....	文世勇,宋璐璐,龙华,等 (1133)
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应.....	陈书军,陈存根,邹伯才,等 (1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局.....	田中平,庄丽,李建贵 (1151)
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较.....	石松利,王迎春,周红兵,等 (1163)
干旱胁迫下黄土高原4种乡土禾草抗氧化特性 .....	单长卷,韩蕊莲,梁宗锁 (1174)
施加角担子菌B6对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响 .....	肖逸,王兴祥,王宏伟,等 (1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生生境.....	张翼飞,王炜,梁存柱,等 (1193)
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系.....	管孝艳,王少丽,高占义,等 (1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性.....	刘春利,胡伟,贾宏福,等 (1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局.....	张春华,王宗明,居为民,等 (1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立.....	王鹏,张春庆,陈化榜,等 (1230)
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较.....	黎运喜,张泽钧,孙宜然,等 (1241)
西花蓟马在6种蔬菜寄主上的实验种群生命表 .....	曹宇,郅军锐,孔译贤 (1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织N同位素转化率的影响 .....	曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等 (1257)
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别.....	许文雯,孙翔,朱晓东,等 (1264)
珠三角城市绿地CO <sub>2</sub> 通量的季节特征 .....	孙春健,王春林,申双和,等 (1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例 .....	吴以中,朱沁园,刘宁,等 (1283)
<b>专论与综述</b>	
湿地退化研究进展 .....	韩大勇,杨永兴,杨杨,等 (1293)
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评 .....	杨荣,苏永中,王雪峰 (1308)
<b>问题讨论</b>	
抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性 .....	屠振力,方俐晶,王家刚 (1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响 .....	杨永胜,卜崇峰,高国雄 (1327)
<b>研究简报</b>	
祁连山典型灌丛降雨截留特征 .....	刘章文,陈仁升,宋耀选,等 (1337)
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法 .....	喻梅,周守标,吴晓艳,等 (1347)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-02	



封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新鸥种,因此得名)。1931年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球90%以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201101050014

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.

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.

## 藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应

宋春桥<sup>1, 2, 4</sup>, 游松财<sup>3,\*</sup>, 柯灵红<sup>1, 2</sup>, 刘高焕<sup>1</sup>, 钟新科<sup>1, 2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081;

4. 香港中文大学, 香港)

**摘要:**植被物候作为陆地生态系统对气候变化的响应和反馈的重要指示,已成为区域或全球生态环境领域研究的热点。基于非对称高斯拟合方法重建了2001—2010年MODIS EVI时间序列影像,利用动态阈值法提取藏北高原植被覆盖2001—2010年每年关键物候参数。选取研究区内东部高寒灌丛草甸、中部高寒草甸及西部高寒草原和高寒荒漠4种典型植被类型,并结合附近的4个气象台站气候资料,分析典型植被物候在近10a对关键气候因子的响应特征。研究结果表明:(1)4种不同典型植被的物候特征( $EVI_{max}$ 降低、返青期延后和生长季长度缩短)均表现出高寒灌丛草甸→高寒草甸→高寒草原→高寒荒漠草原的过渡;(2)藏北高原近10a的年平均气温及春、夏、冬三个季度的平均气温均呈显著升高的趋势,升温幅度在0.8—3.9°C/10a,降水减少趋势不显著,在这种水热条件下典型植被均表现出返青提前(7.2—15.5d/10a)、生长季延长(8.4—19.2d/10a)的趋势,而枯黄出现时间为年际间自然波动;(3)高寒灌丛草甸 $EVI_{max}$ 主要受春季降水量和气温影响,且降水的影响程度大于气温;对高寒草甸植被而言,春、夏季的气温和降水均有较大的影响;而高寒草原和高寒荒漠草原主要受夏季平均气温和降水量影响;(4)高寒灌丛草甸的返青时间主要受前一年秋季降水量的影响,相关系数达-0.579;而高寒草甸、高寒草原和高寒荒漠草原主要受春季平均气温影响,高寒荒漠草原的特征最为明显( $r=-0.559$ )。

**关键词:**物候变化; 藏北高原; 气候变化; MODIS; 返青期; 生长季

## Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes

SONG Chunqiao<sup>1, 2, 4</sup>, YOU Songcui<sup>3,\*</sup>, KE Linghong<sup>1, 2</sup>, LIU Gaohuan<sup>1</sup>, ZHONG Xinke<sup>1, 2</sup>

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, State Key Lab of Resources and Environmental Information System, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China

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

3 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture; Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

4 Chinese University of Hong Kong, Hong Kong

**Abstract:** Vegetation phenology is closely related to seasonal dynamics of the lower atmosphere and, therefore, is thus considered as an important indicator that influences the feedback mechanisms of global climate variation to the terrestrial ecosystem. Detecting vegetation phenological metrics using time series remote sensing dataset at the regional or global scale has become an active research topic in geography and ecology. This paper presents a dynamic thresholding method to extract the vegetation phenological metrics (greenup date, growing season length, maximum EVI and wilting date) of typical

基金项目:国家自然科学基金资助(40971132)

收稿日期:2011-01-05; 修订日期:2011-05-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yousc@ieda.org.cn

grassland, including alpine shrub meadow in the eastern region, alpine meadow in the central region, alpine steppe and alpine desert steppe in the western region of northern Tibetan Plateau, using a time-series TERRA/MODIS EVI dataset from 2001 to 2010 which was reconstructed using the asymmetric Gaussian function fitting method. Furthermore, the relationship between inter-annual variation of phenological metrics and climatic factors was analyzed based on the measured data of weather stations close to the sampling areas, the results showed that: (1) The ordinal relationship of these typical vegetation samples in phenological metrics was in the sequence of alpine shrub meadow, alpine meadow, alpine steppe, and alpine desert steppe (for greenup date and the wilting date, the sequence respectively referred to be earlier and later). (2) The annual, spring, summer and winter average temperature of northern Tibetan Plateau all showed significant ascending trend, the increased rate was between 0.8°C/10a and 3.9°C/10a. While the decreased trend of precipitation was not apparent. Due to the warming and drier climate, the greenup date of four types of typical vegetation was advanced (approximately 7.2—15.5d/10a earlier) and the growing season length became longer (approximately 8.4—19.2d/10a), whereas the wilting date of four types of vegetation cover did not show apparent advanced or lingering trend; (3) The maximum EVI of different typical vegetation cover types was affected by different climatic factors. As follows, alpine shrub meadow was mainly affected by spring average temperature and spring precipitation, and precipitation had more important influence on phenological variation than temperature; Alpine meadow was affected by both spring and summer average temperature and precipitation; Alpine steppe and alpine desert steppe were primarily influenced by summer average temperature and precipitation, while for alpine steppe vegetation the inhibition of summer average temperature was more intense than the promotion effect of summer precipitation, among four types of vegetation cover, alpine desert steppe had the closest relationship with summer precipitation (the correlation coefficient, -0.752); (4) As for greenup date, alpine shrub meadow was mainly affected by autumn precipitation of the previous year, the correlation coefficient was closed to -0.579; however, other three types of vegetation cover were mainly influenced by spring average temperature, and the character was the most obvious for desert steppe (the correlation coefficient, -0.559). That was due to that high temperature in spring expedited snow melting and tundra soil thawing which are indispensable for vegetation greenup, especially for high-altitude regions in northern and western Tibet. In addition, the autumn precipitation and winter average temperature in the previous year also had some impact on the vegetation greenup of alpine steppe and alpine desert steppe.

**Key Words:** phenological variation; northern Tibetan Plateau; climate changes; MODIS; greenup date; growing season

植被物候研究是为了解植物随自然季节的变化规律,分析陆地生态系统对气候变化或人为干扰等因素的响应特征,服务于农牧业生产和生态环境监测。传统的物候观测和研究方法主要采取以野外观测为基础的目视观察法,即直接定点观测生物物候现象的年内变化和年际变化<sup>[1]</sup>。近年来,卫星遥感数据和地面实测物候资料相结合的方法,利用长时间序列卫星数据获取地表植被物候信息,并将其与气象过程联系并建立模型,是遥感应用和全球变化研究的一个重要方面,已广泛用于物候的预报<sup>[2-3]</sup>。

目前,基于遥感技术的物候监测应用研究主要分3个方面:(1) 分析某种植被类型或植物物种的物候期年际变化规律,以揭示其对全球变化的响应机制,如加利福尼亚中部沿海草原植物开花与冠层变绿时间<sup>[4]</sup>,草本植物芸苔花期对气候波动的响应<sup>[5]</sup>,北京地区的山桃始花近50a变化规律等<sup>[6]</sup>研究。(2) 作物物候监测为农业生产和管理提供决策支持,已经发展了成熟的技术并取得广泛地应用<sup>[7-9]</sup>。(3) 区域性陆地生态系统植被物候变化特征研究及对气候变化和人类干扰的响应。如 Lucht<sup>[10]</sup>, Nezlin<sup>[11]</sup>, Myneni<sup>[12]</sup>等人基于长时间遥感影像提取物候信息研究发现,北半球高纬度地区植被返青期随年代进程提前、枯黄期推迟,生长季延长且植被活动增强,并指出这种变化是全球变暖的结果。

一系列研究结果<sup>[13-14]</sup>指出,青藏高原近60a来存在显著的升温过程,且该升温趋势明显超过同一时期北半球同纬度其他地区的平均水平,致使高原地区植被比低海拔地区对全球气候变化的反应更敏感。因此,研

究青藏高原地域单元上独特的高寒植被物候空间格局特征及在气候温暖化大背景下的变化规律具有非常重要的意义。但不少研究<sup>[15-17]</sup>主要针对某种植物或植被类型定点物候观测数据开展研究,很难从区域尺度上了解空间连续的植被物候分布特征及长时间变化规律,并且研究区域主要集中在青海省境内,得出的结果也不尽相同,甚至相互矛盾。藏北高原地处青藏高原腹地,是重要的水涵养区,具有重要的生态功能作用。因此,研究藏北高原植被物候空间特征、高寒植被对气候变化响应,对该地区生态环境变化预测、生态安全建设等具有重大的科学价值。本文研究将选取藏北高原东部高寒灌丛草甸、中部高寒草原、西部高寒草原及高寒荒漠草原4种典型高寒植被类型为研究对象,并联系所在位置的4个气象站点的气象观测资料,分析藏北植被物候空间和时间变化特征及其对气候变化(气温与降水)的响应特征。

## 1 研究样区与数据

### 1.1 研究区典型植被样区选取

藏北高原西北起于昆仑山和唐古拉山,与新疆、青海交界,南抵念青唐古拉山,与日喀则、拉萨和林芝等地(市)相邻;东接昌都地区的边坝县和丁青县;西与阿里地区的改则县和措勤县相连。幅员辽阔,南北纵跨6个纬度带(N 30°27'25"–35°39'13"),东西横越11个经度带(E 83°41'14"–95°10'46"),平均海拔在4500m以上。藏北作为重要的畜牧业生产基地,草地成为该区域的生态系统主体。该地区气候突出特点是高原大陆性气候,寒冷干燥,年平均气温在-2.8—1.6℃之间,最冷月是1月,最热月为7月,冬季漫长寒冷,四季不分明。年降水量在247.3—513.6 mm之间,受大气环流和地形的影响,降水总体趋势表现为由东向西,由南向北递减。年蒸发量(以小蒸发皿测量)在1500—2300 mm之间,蒸发力总量大于自然降水量。受水平与垂直地带性影响,气候与水热条件区域间差异较大,植被覆盖从东南向西北依次出现亚高山疏林、灌丛草甸、高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠草原五大基带及相邻的过渡亚带<sup>[18]</sup>。

本文选取4个典型植被样区分别位于索县、那曲、班戈3个气象站点附近及尼玛县中仓乡(图1)。由于西部的尼玛、双湖境内没有气象站点,因此,选取选择与中仓乡地理位置最接近、地形条件相似的改则气象站

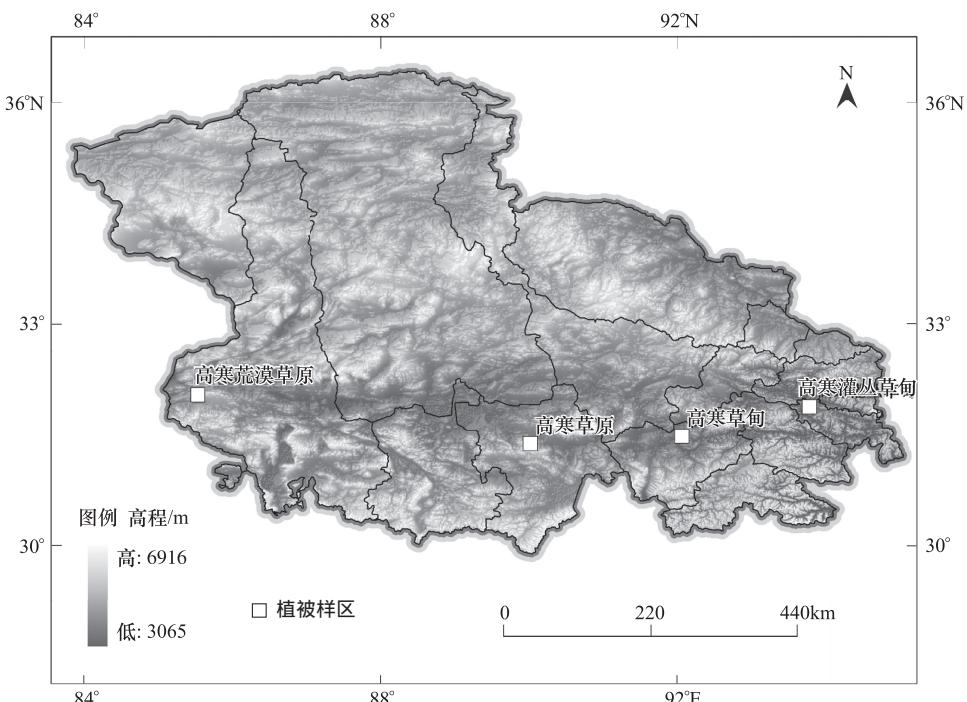


图1 研究区域地理位置与地形  
Fig. 1 Geographic location and topography of study area

分析荒漠草原样地物候与气候变化的关系。高寒灌丛草甸、高寒草甸和高寒草原样区设计为索县、那曲、班戈3个气象站点所在位置东西南北各10km见方的区域(即 $21\times21$ 像元范围),高寒荒漠草原样区大小与前3种相同,位于中仓乡。典型植被样区的地理坐标、植被状况、气候条件等详细信息见表1所示。

表1 藏北高原典型植被样区介绍

Table 1 Details about typical vegetation sampling area in northern Tibetan Plateau

植被类型 Vegetation type	所属地理 区划 Location	经度(°) Latitude	纬度(°) Longitude	海拔/m Altitude	植物建群* Plant community	气候特征 Climate characters
高寒灌丛草甸 Alpine shrub meadow	索县 Sog	93.78	31.88	4386	灌木、草本植物(如垂穗披碱草、羊茅、早熟禾等,第二层) Shrub, herb ( <i>Elymus nutans</i> , <i>Fescue</i> , <i>Poe</i> , etc.)	温带半湿润气候,年降水量600mm左右,年均温超过2°C
高寒草 Alpine meadow	那曲 Nagqu	92.07	31.48	4593	高山嵩草-紫花针茅-羊茅 <i>Kobresia pygmaea-stipa purpurea-Poe</i>	亚寒带半湿润气候,年降水量400—600mm,年均温0°C附近
高寒草原 Alpine steppe	班戈 Bangoin	90.02	31.38	4964	紫花针茅-青藏嵩草 <i>Stipa purpurea-Tibet kobresia</i>	亚寒带半干旱气候,年降水量300mm左右,年均温接近0°C
高寒荒漠草原 Alpine desert steppe	尼玛 Nyima	85.53	32.04	4861	青藏苔草-垫状驼绒藜 <i>Tibet kobresia-Ceratoides</i>	亚寒带半干旱气候,降水量约200mm,年均气温接0°C左右

\* 植被建群是按植物优势种的顺序罗列

## 1.2 数据准备与处理

本文研究的遥感数据采用NASA数据官网的Land Processes DAAC数据中心Terra卫星MODIS传感器的植被指数产品MOD13 A2。MOD13 A2是Terra卫星16d合成空间分辨率为1km的植被指数产品,包含NDVI、EVI、几个主要波段反射率以及其它辅助信息。本研究选择2001—2010年近10a的EVI时间序列影像,从植被指数组合反映的生长季曲线中提取物候信息。

由于传感器本身、及受云、大气气溶胶、地表水、冰雪等随机干扰因素影响,得到的锯齿状EVI时间序列曲线不可避免地夹杂各种“噪声”和干扰<sup>[19-20]</sup>。本文采用非对称高斯函数拟合方法对植被指数时间序列进行重建,其基本思想是一个从局部拟合到整体拟合的方法过程,使用分段高斯函数来模拟植被生长过程,最后通过平滑连接各高斯拟合曲线实现时间序列重建<sup>[21]</sup>。其过程大致可以分为区间提取、局部拟合和整体连接三个步骤<sup>[22]</sup>。

研究中使用的4个站点(索县、那曲、班戈、改则)的气象数据来自中国气象科学数据共享网的2000年1月至2010年9月的月值平均气温、月降水量数据。然后分别合成逐年的春、夏、秋、冬、夏秋及全年的平均气温和降水量数据。

## 2 研究方法

### 2.1 遥感提取植被物候原理

本研究采用Jönsson和Eklundh<sup>[21]</sup>在传统阈值法的基础上的改进算法:利用非对称高斯函数重建的NDVI年内生长季曲线,使用动态阈值法(比例阈值法)提取生长季参数(图2)。他们将NDVI增长达到当年NDVI振幅一定百分比的时刻定义为生长季的开始时间,而NDVI降低到当年NDVI振幅一定百分比的时刻定义为生长季的结束时间。由于该方法采用的阈值不是某个具体的植被指数值,而是一种动态比值形式,即给定像元和给定年份的VI值与当年VI振幅的比,因此相比绝对阈值和差值阈值而言,该阈值在时间域和空间域上都具有更好的适用性。由于遥感方法提取物候参数是基于传感器获取植被的绿度信息,与传统意义上植株的物候期如出苗、展叶、抽穗、开花不严格一致,但能宏观上反映植被物候关键信息的相对状况。Jönsson在提出动态阈值方法时,建议生长季开始和结束时刻为NDVI达到年振幅的20%左右。由于藏北高原高寒地

区植被盖度偏低及大部分草地植被生长季曲线不对称性特征,根据刘雪松等<sup>[23]</sup>提出的由积温等气象观测数据确定那曲地区植被返青期的方法和西藏自治区那曲地区畜牧局<sup>[24]</sup>实地记录典型植被物候相关信息,在大量试验基础上将生长季枯黄期阈值保留为20%,而生长季返青期阈值设定为10%,从而提取研究区近10a逐年的植被生长季开始点(返青期)、生长季结束点(枯黄初期)、生长季峰值(成熟期)、生长季长度参数。

## 2.2 样区分析方法

首先,基于动态阈值法提取整个藏北高原各像元的植被物候返青期、枯黄期、生长季长度和生长季最大EVI值4个关键参数;其次,按典型植被样区的21×21像元大小计算上述几个物候指标;然后,剔除样区中的异常值,统计每个样区逐年各物候参数的均值,分析物候返青、枯黄、生长季长度和最大EVI的年际变化特征;最后,分析植被物候的年际波动与各气象因子的相关关系,旨在探究影响藏北高原典型植被的返青期等物候参数变化的主导气象要素。

## 3 结果与讨论

### 3.1 气温与降水的年际变化趋势

对藏北高原典型植被样区对应的索县、那曲、班戈和改则4个气象站2000—2010年期间降水量和气温变化趋势分析表明(表2)。各站点的年平均气温及春、夏、冬3个季度的平均气温均呈显著升高的趋势,升温幅度在0.8—3.9°C/10a。4个气象站点只有秋季平均气温变化幅度不很明显,那曲站的秋季气温在这10a内表现出不显著的降温趋势。从单个站点来看,改则冬季升温幅度最为剧烈,速率为3.9°C/10a;各季度比较来看,春季的升温速率明显高于其他季度,其次是冬季和夏季。4个站点年降水和各季度降水在近10a内的变化趋势均不太显著。其中,班戈和改则在春季降水量有增加的迹象,其他均表现为不同程度的减少,冬季减少

表2 典型植被样区对应气象站点年度与季度平均气温和降水量的变化趋势

Table 2 Inter-annual change trends of mean annual and seasonal air temperature and precipitation at each climate stations corresponding to each type of vegetation cover

站点 Name		索县 Sog		那曲 Nagqu		班戈 Bangoin		改则 Gérzê	
		变化斜率 Slope	R <sup>2</sup>						
平均气温	全年 All-year	0.143	0.552	0.119	0.505	0.135	0.505	0.190	0.563
Mean temperature	春季 Spring	0.206	0.504	0.223	0.614	0.199	0.410	0.162	0.330
	夏季 Summer	0.150	0.304	0.159	0.337	0.152	0.411	0.077	0.153
	秋季 Autumn	0.023	0.007	-0.020	0.006	0.055	0.034	0.097	0.245
	冬季 Winter	0.146	0.231	0.144	0.239	0.152	0.183	0.394	0.584
降水量	全年	-3.614	0.015	-14.38	0.228	4.095	0.027	-3.509	0.069
Precipitation	春季	-3.692	0.169	-1.527	0.062	1.055	0.026	0.839	0.049
	夏季	-0.021	0.000	-8.088	0.108	-0.198	0.000	-0.933	0.006
	秋季	-1.352	0.018	-1.040	0.009	-1.315	0.030	-1.218	0.022
	冬季	-1.253	0.206	-1.402	0.473	-0.539	0.214	-0.521	0.471

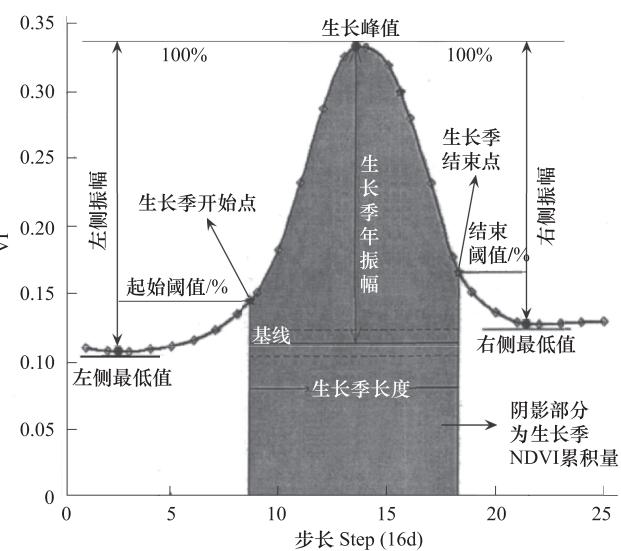


图2 基于像元EV年内时间序列曲线的物候指标提取

Fig. 2 Principle of extracting phenological information based on time-series EVI

的趋势稍明显。上述全年及各季度的平均气温与降水量的变化趋势反映出藏北高原气候近年来的暖干化特征,而暖化的程度大于干化特征。

### 3.2 典型植被样区物候特征及变化分析

#### 3.2.1 典型植被生长季最大 EVI

植被生长季 EVI 最大 ( $EVI_{max}$ ) 值反映了年内植被生长和分布的最佳状况,一定程度上表现出植被年内生产力情况。从  $EVI_{max}$  的多年平均值来看,高寒灌丛草甸 (0.40) > 高寒草甸 (0.39) > 高寒草原 (0.28) > 高寒荒漠草原 (0.13)。从图 3 中可以看出,高寒灌丛草甸  $EVI_{max}$  随年际进程变化平稳,其他 3 种植被类型均有稳定的微降趋势。

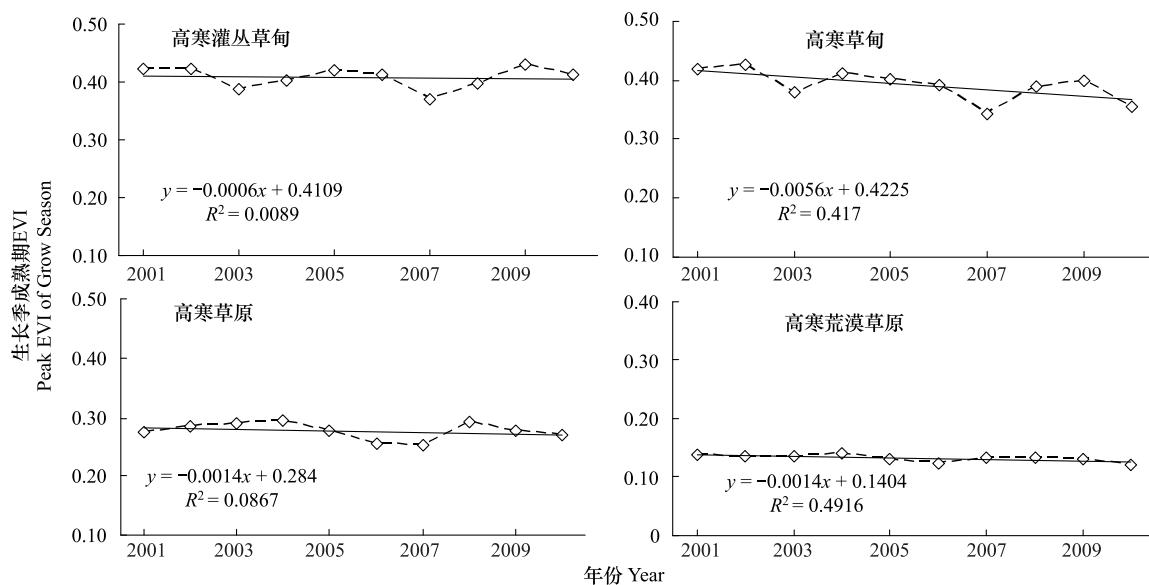


图 3 不同植被类型生长季成熟期最大 EVI 特征及年际变化

Fig. 3 Inter-annual variation and characters of  $EVI_{max}$  of different vegetation cover types

#### 3.2.2 典型植被物候返青期

基于遥感影像时间序列信息提取的植被返青时间并不严格等同于定点观测的植物出叶等植物生理学上的概念,而是利用传感器记录的绿度信息在整个生长季的明显变化进行定义,但能反映出一种区域和时间上的相对信息。由于植被返青对水热气候条件反映敏感,四种典型植被样区所在位置的气候条件不同,将造成返青时间的差异。高寒灌丛草甸近 10a 返青时间平均发生在  $(132 \pm 6)$  d(从 1 月 1 日开始计算的年序日,下同),高寒草甸植被在  $(136 \pm 6)$  d 返青,高寒草原的植被返青时间与草甸接近,时间为  $(137 \pm 4)$  d,而高寒荒漠草原植被返青时间相对较晚,在 5 月下旬  $(141 \pm 8)$  d 出现。典型植被样区的物候返青时间均表现不同程度的提前,高寒荒漠草原和高寒灌丛草甸的提前幅度最大,分别提前了 15.5 d/10a 和 12.2 d/10a,高寒草甸和高寒草原返青时间也提前了 7.8 d/10a 和 7.2 d/10a。这与 Lucht, Nezlin 等<sup>[10-11]</sup>对北半球寒带地区的研究由于全球变暖活动造成的植被活动增强,植被返青期提前的结论相符。

#### 3.2.3 典型植被物候枯黄期

4 种典型植被枯黄初期时间差异不及返青期(图 5),高寒灌丛草甸枯黄时间大致在  $(290 \pm 3)$  d,高寒草甸的枯黄期在  $(290 \pm 5)$  d,而高寒草原和高寒荒漠草原的植被枯黄时间平均状况大致为  $(288 \pm 3)$  d。植被枯黄初期在 2001—2010 年间的变化表现为自然波动,没有明显的变化趋势。但是,几种典型植被表现出相似的年际波动:在 2002 年 4 种典型植被枯黄时间都相对提前了 5—9 d,紧接着在 2003 年的枯黄期恢复到 2001 年的水平并有所推延,在 2004—2007 年期间除高寒荒漠草原以外其他类型植被枯黄时间比较稳定,2008—2009 年间植被枯黄时间提前,在 2010 年植被枯黄时间延迟并晚于 2001 年起任何年份的枯黄期。

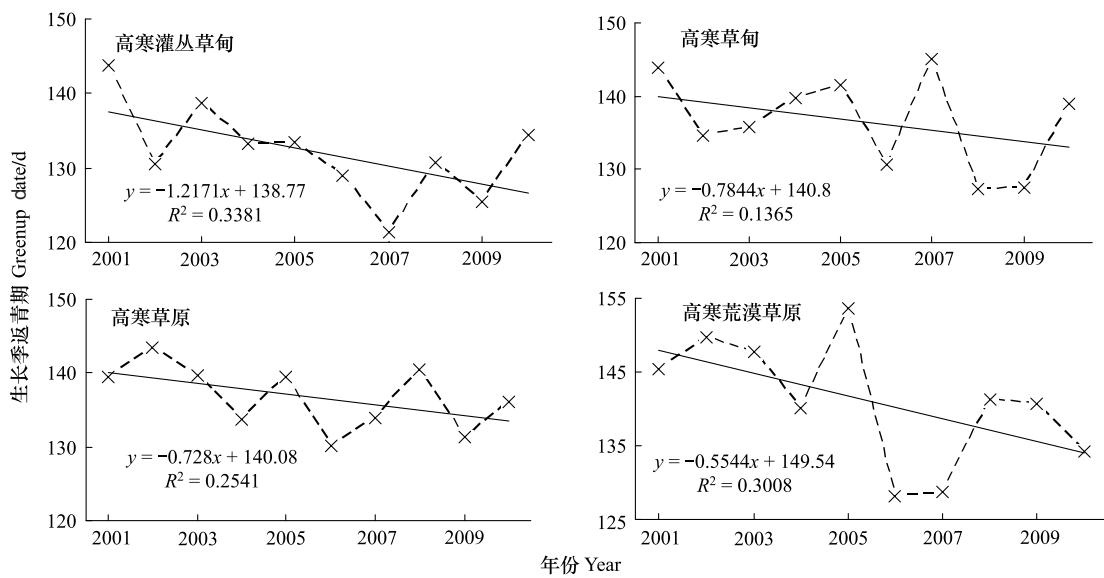


图4 不同植被类型物候返青期特征及年际变化

Fig. 4 Inter-annual variation and characters of phenological greenup of different vegetation cover types

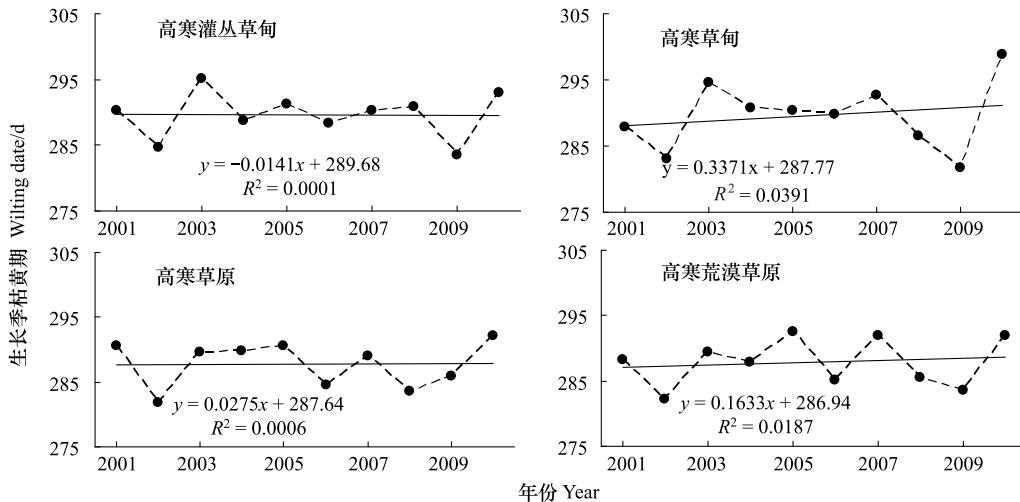


图5 不同植被类型物候枯黄期特征及年际变化

Fig. 5 Inter-annual variation and characters of phenological wilting date of different vegetation cover types

### 3.2.4 典型植被生长季长度

假设植被生长季长度为枯黄时间减去返青时间的天数,故生长季长度的变化受返青和枯黄时间二者的年际波动影响。由于四种典型植被的枯黄期比较接近,且年际变化趋势不甚明显,因此,藏北高原典型植被的生长季长度年际变化趋势主要取决于返青期的提前。从生长季长度平均状况来看,高寒灌丛草甸( $158 \pm 6$ )d>高寒草甸( $153 \pm 6$ )d>高寒草原( $152 \pm 6$ )d>高寒荒漠草原( $149 \pm 9$ )d。从图6可以看出,4种典型植被的生长季都有延长趋势,高寒荒漠草原生长季延长幅度最大,变化速率为 $19.6\text{d}/10\text{a}$ ,其年际波动也最为剧烈,其次是高寒灌丛草甸,生长季延长速率为 $12.7\text{d}/10\text{a}$ ,高寒草甸和高寒草原的生长季延长速率为 $11.7\text{d}/10\text{a}$ 、 $8.4\text{d}/10\text{a}$ 。

### 3.3 典型植被物候与气候要素年际动态的关系分析

由于藏北高原典型植被的枯黄期年际变化趋势不明显,而植被生长季长度的变化主要受返青时间的变化影响,因此对各样区的植被生长季EVI<sub>max</sub>和返青日期的年际变化与气温、降水量数据进行相关分析,结果如表

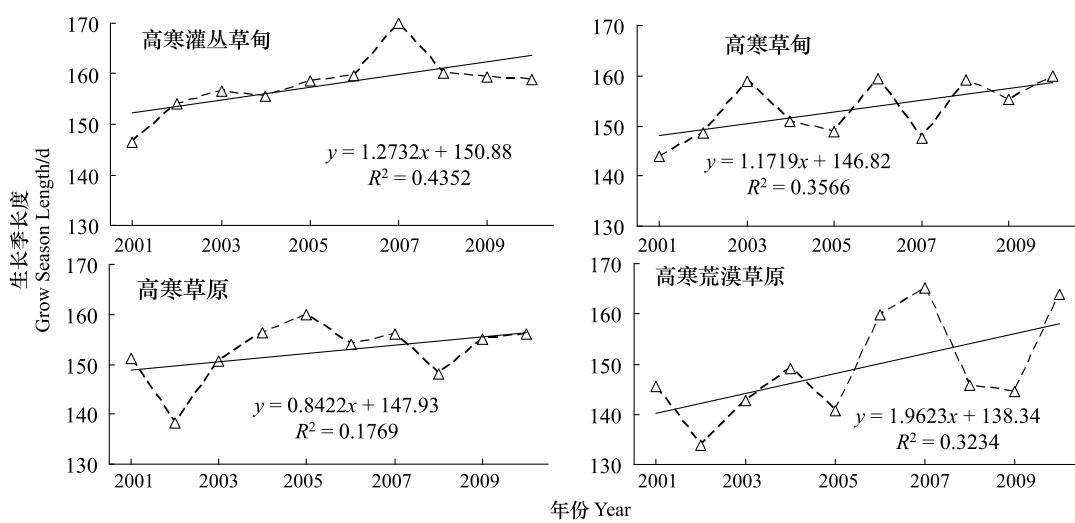


图6 不同植被类型生长季长度特征及年际变化

Fig. 6 Inter-annual variation and characters of growing season length of different vegetation cover types

3、表4所示。

对于植被生长季  $EVI_{max}$  的气候影响因子,选择从年平均气温、年降水量、春季平均气温、春季降水量、夏季平均气温和夏季降水量6个指标来分析其与物候参数年际变化之间的相关程度。高寒灌丛草甸区植被生长季  $EVI_{max}$  受降水的影响超过温度的影响,与年均温的相关系数仅0.005,这可能由于灌丛草甸常位于那曲高山谷地海拔较高的坡地,具有“干热河谷效应”,相对谷底土壤湿度较低,而植被本身对温度的抗耐性比草本植物更强。其中,春季的气候条件对其  $EVI_{max}$  影响最为关键,与春季降水量的相关系数达到0.687,说明植被在生长季初期的良好水分条件将直接影响到植被的最佳生长状态。高寒草甸的生长季  $EVI_{max}$  值同时受制于气温和降水量,气温的影响表现为制约作用,而降水为促进作用。夏季平均气温对草甸植被影响最大,相关系数为-0.544,而春季的平均气温和降水量与  $EVI_{max}$  年际变化的相关系数绝对值接近。高寒草原的生长季  $EVI_{max}$  也同时受气温和降水量两个因素的影响,但是气温的抑制作用超过降水的促进作用,特别是夏季平均温,与其相关系数达到-0.752。与高寒灌丛草甸和高寒草甸不同的是,春季的平均气温对  $EVI_{max}$  的影响极小。高寒荒漠草原植被生长季  $EVI_{max}$  主要受夏季平均气温和降水量影响,且受夏季降水的影响程度超过其他3种典型植被,这也反映藏北高原西、北部由于降水稀少导致植被稀疏荒漠化。

表3 各典型植被区生长季最大 EVI 与对应站点气候要素动态关系

Table 3 Correlation coefficient between maximum EVI of growing season and air temperature and precipitation in different vegetation cover types

气候要素 Climatic factors	生长季最大 EVI ( $EVI_{max}$ )			
	高寒灌丛草甸-索县 Apline shrub meadow-Sog	高寒草甸-那曲 Apline meadow-Nagqu	高寒草原-班戈 Apline steppe-Bangoin	高寒荒漠草原-改则 Apline desert steppe-Gérzé
年均温 Yearly average T	0.0045	-0.4457	-0.6995	-0.4862
年降水 Yearly P	0.4783	0.2146	0.4956	0.5405
春季均温 Spring average T	-0.6661	-0.4541	0.0408	0.2607
春季降水 Spring P	0.6868	0.4593	0.308	0.4008
夏季均温 Summer average T	-0.2916	-0.544	-0.7523	-0.5901
夏季降水 Summer P	0.3407	0.3709	0.4429	0.5624

同样,选择年平均气温、年降水量、春季平均气温、春季降水量、前一年秋季降水量、前一年冬季平均气温和降水量7个气候指标研究影响植被返青日期的关键因子。影响高寒灌丛草甸植被返青时间最关键的因素

是前一年秋季的降水量,降水越多,返青时间越早,即返青日期(年序日)越小,相关系数为-0.579。其次,春季平均气温对高寒灌丛草甸植被返青也有一定影响,其相关系数为-0.350。对于高寒草甸、高寒草原及高寒荒漠草原,春季平均气温均是植被返青期最主要的影响因子,特别是高寒荒漠草原,其相关系数为-0.559。这也反映了藏北高原植被物候的水平地带性特征,由东南到西北,气温逐渐降低,而春季温度的升高有利于地表冰雪融化和土壤解冻,使植被返青时间提前。对于高寒草甸,其他气候指标与返青时间的相关系数都较低。而高寒草原和高寒荒漠草原还也同时受前一年秋季降水量和冬季平均气温的影响,表现出“植被-水分驱动型”特征。

表4 各典型植被区物候返青期与对应站点气候要素动态关系

Table 4 Correlation coefficient between start date of growing season and air temperature and precipitation in different vegetation cover types

气候要素 Climatic factors	植被物候返青期 Vegetation Greenup Date			
	高寒灌丛草甸-索县 Apline shrub meadow-Sog	高寒草甸-那曲 Apline meadow-Nagqu	高寒草原-班戈 Apline steppe-Bangoin	高寒荒漠草原-改则 Apline desert steppe-Gêrzê
年均温 Yearly average $T$	0.0168	-0.0879	-0.3804	-0.3598
年降水 Yearly $P$	0.036	0.0593	0.0693	0.0113
春季均温 Spring average $T$	-0.35	-0.4259	-0.4105	-0.5587
春季降水 Spring $P$	0.195	0.1473	-0.0921	0.1917
前一年秋降水 Autumn $P$ of pre-year	-0.5793	-0.0463	-0.4049	-0.2875
前一年冬均温 Winter average $T$ of pre-year	-0.131	-0.1058	-0.3175	-0.452
前一年冬降水 Winter $P$ of pre-year	-0.1095	0.1778	0.1481	0.1464

#### 4 结论与讨论

本研究利用藏北高原2001—2010年的MODIS EVI时间序列影像,通过动态阈值法提取植被物候生长季最大EVI、返青期、枯黄期与生长季长度几个关键参数,并在高原东西样带上选择高寒灌丛草甸、高寒草甸、高寒草原和高寒荒漠草原几个典型样区,分析不同样区内植被物候平均状况及年际变化特征,并根据样区对应气象站点的记录探究物候变化与气候的关系,其结论如下:

(1) 4种典型植被的物候特性均表现为:高寒灌丛草甸>高寒草甸>高寒草原>高寒荒漠草原(对于EVI<sub>max</sub>、返青期和枯黄期,“>”分别表示高于、早于和迟于),且高寒草甸与高寒草原的物候参数值相近。从物候的年际变化来看,除高寒灌丛草甸外,其他3种植被生长季最大EVI都有降低趋势;4种植被均出现返青提前、生长季延长的现象,这也印证了Tateishi<sup>[2]</sup>、Lucht<sup>[10]</sup>等对全球植被物候研究结论:北半球,特别是寒带植被物候与温度为正相关,受全球变暖影响植被返青时间普遍提前;而枯黄期表现出年际间自然波动,无明显的提早或延迟趋势。

(2) 在气温显著上升、降水自然波动甚至弱微减少的复杂气候背景下,EVI<sub>max</sub>与返青期受气候影响的关键因子也因不同植被类型而异。对EVI<sub>max</sub>而言,高寒灌丛草甸主要受春季降水量和气温影响,且降水的影响程度大于气温;春、夏季的气温和降水对高寒草甸植被生长季最大EVI均有较大影响;而高寒草原和高寒荒漠草原主要受夏季平均气温和降水量影响。

(3) 高寒灌丛草甸的返青时间主要受前一年秋季降水量的影响,其次是春季平均气温;而高寒草甸、高寒草原和高寒荒漠草原主要受春季平均气温影响,同时,前一年秋季降水量、前一年冬季平均气温与高寒荒漠和高寒荒漠草原两种植被的返青时间也有一定的关系。

然而,张国胜<sup>[16]</sup>、Yu<sup>[17]</sup>等对青藏高原及青南高原的草本植物物候变化探讨发现植物返青时间有推迟趋势,这可能与选取的样地具体位置、研究的时间尺度及参照的时间基准等因素有关。此外,本研究存在几个方面的问题:(1)本文采用动态阈值法提取植被物候信息,尽管改进了不同植被类型采用同一阈值的弊端,但也

无法获取等同与植物物候学上出芽、展叶等物候概念,为了提高估测精度,研究中尽可能参考青藏高原以往相关研究和出版物的实地物候记录来设定阈值;(2)由于每种典型植被采取一个样区估计,无法比较不同类型植被物候年际变化特征的异同,这也受制于该地区气象站点个数;(3)受MODIS遥感数据本身时间长度限制(只有10a左右的数据),在有限的时间尺度上讨论植被物候对气候变化的响应规律,其结果精度可能受到影响。

### References:

- [1] Wang Q, Tenhunen J D. Vegetation mapping with multitemporal NDVI in north eastern China Transect (NECT). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2004, 6(1): 17-31.
- [2] Tateishi R, Ebata M. Analysis of phonological change patterns using 1982—2000 advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(12): 2287-2300.
- [3] Tucker C J, Dregne H E, Newcomb W W. AVHRR data sets for determination of desert spatial extent. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 15(17): 3547-3565.
- [4] 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(37): 13740-13744.
- [5] 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(4): 1278-1282.
- [6] Zhang X X, Ge Q S, Zheng J Y. Impacts and lags of global warming on vegetation in Beijing for the last 50 years based on remotely sensed data and phenological information. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(2): 123-130.
- [7] Crist E P, Malila W A. Temporal-spectral analysis of technique of vegetation applications of Landsat// Proceeding of the 14th Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, USA: Environmental Research Institute of Michigan, 1980: 23-30.
- [8] Wu B F, Zhang F, Liu C L, Zhang L, Luo Z M. An integrated method for crop condition monitoring. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6): 498-514.
- [9] Li Z G, Yang P, Zhou Q B, Wang Y L, Wu W B, Zhang L, Zhang X F. Research on spatiotemporal pattern of crop phenological characteristics and cropping system in North China based on NDVI time series data. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6216-6226.
- [10] Lucht W, Prentice I C, Myneni R B, Sitch S, Friedlingstein P, Cramer W, Bousquet P, Buermann W, Smith B. Climatic control of the high-latitude vegetation greening trend and pinatubo effect. *Science*, 2002, 296(5573): 1687-1689.
- [11] Nezlin N P, Kostianoy A G, Li B L. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region. *Journal of Arid Environments*, 2005, 62(4): 677-700.
- [12] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, Asrar G, Nemani R R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 1997, 386(6626): 698-702.
- [13] Liu X D, Chen B D. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(14): 1729-1742.
- [14] Yao S D, Liu X D, Wang N L. Study on the magnitude of climate change in Qinghai-Tibet Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 98-106.
- [15] 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.
- [16] Zhang G S, Li L, Wang Q C, Li L X, Xu W X, Dong L X. Effects of climatic changes of south Qinghai plateau on the alpine meadow. *Acta Prata Cultural Science*, 1999, 8(3): 1-10.
- [17] 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 Science of the United States of America*, 2010, 107(51): 22151-22156.
- [18] Liu S Z, Zhou L, Qiu C S. Studies on Grassland Degradation and Desertification of Nagqu Prefecture in Tibet Autonomous Region. Lhasa: Tibet People's Press, 1999: 12-19.
- [19] Cihlar J, Ly H, Li Z Q, Chen J, Pokrant H, Huang F T. Multi temporal, multichannel AVHRR data sets for land biosphere studies-artifacts and corrections. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 60(1): 35-57.
- [20] Li H Y, Xie Y W, Ma M G. Reconstruction of temporal NDVI dataset: evaluation and case study. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(5): 596-602.

- [21] Jönsson P, Eklundh L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8) : 1824-1832.
- [22] Jönsson P, Eklundh L. TIMESAT-a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers and Geosciences*, 2004, 30 (8) : 833-845.
- [23] Liu X S, Ma Y C, La B. Compartment of Pasture Husbandry and Climate Over Nagqu Area. Beijing: Meteorological Press, 2003 : 107-156.
- [24] Zhang T Z, Yao Z F. Land Resources in Nagqu of Tibet. Beijing: China Agriculture Press, 1992 : 191-251.

#### 参考文献:

- [ 6 ] 张雪霞, 葛全胜, 郑景云. 近 50 年北京植被对全球变暖的响应及其时效——基于遥感数据和物候资料的分析. 生态学杂志, 2005, 24 (2) : 123-130.
- [ 8 ] 吴炳方, 张峰, 刘成林, 张磊, 罗治敏. 农作物长势综合遥感监测方法. 遥感学报, 2004, 8(6) : 498-514.
- [ 9 ] 李正国, 杨鹏, 周清波, 王仰麟, 吴文斌, 张莉, 张小飞. 基于时序植被指数的华北地区作物物候期/种植制度的时空格局特征. 生态学报, 2009, 29(11) : 6216-6226.
- [14] 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 青藏高原地区的气候变化幅度问题. 科学通报, 2000, 45(1) , 98-106.
- [15] 邵如英, 王启兰, 申红艳. 青海草本植物物候期变化对气象条件影响分析. 气象科技, 2006, 34(3) : 306- 310.
- [16] 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.
- [18] 刘淑珍, 周麟, 仇崇善. 西藏自治区那曲地区草地退化沙化研究. 拉萨: 西藏人民出版社, 1999 : 12-19.
- [20] 李杭燕, 颉耀文, 马明国. 时序 NDVI 数据集重建方法评价与实例研究. 遥感技术与应用, 2009, 24(5) : 596-602.
- [23] 刘雪松, 马玉才, 拉巴. 那曲地区牧业气候区划. 北京: 气象出版社, 2003 : 107-156.
- [24] 张天增, 姚祖芳. 西藏那曲地区土地资源. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 202-230.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat .....	MA Chang'an, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)
Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique .....	SUN Caizhi, YANG Lei (1016)
Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing .....	HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)
The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy .....	GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)
Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes .....	SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)
Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors .....	TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)
Eco-hydrological effects of Qinghai spruce ( <i>Picea crassifolia</i> ) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains .....	TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)
Response of tree-ring width of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> to climate change in Hulunbuir sand land, China .....	SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)
Analysis of a dust case using lidar in Shanghai .....	MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)
Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses .....	TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)
Phenotypic traits of both larvae and juvenile <i>Crasstrea hongkongensis</i> and <i>C. gigas</i> .....	ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)
Inter-specific competition between <i>Prorocentrum donghaiense</i> and <i>Skeletonema costatum</i> .....	LI Hui, WANG Jiangtao (1115)
Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species .....	WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)
On the ecological amplitude of nitrate of <i>Alexandrium tamarensis</i> at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures .....	WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)
Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary <i>Pinus tabulaeformis</i> on precipitation in the Qinling Mountains, China .....	CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)
The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern .....	TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jiangui (1151)
Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant <i>Tetraena mongolica</i> Maxim. and the closely related <i>Zygophyllum xanthoxylon</i> (Bunge) Maxim. ....	SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)
Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress .....	SHAN Changjuan, HAN Ruilan, LIANG Zongsuo (1174)
The effects of the addition of <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon ( <i>Citrullus lanatus</i> ) site in China .....	XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)
Suitable habitat for the <i>Achnatherum splendens</i> community in typical steppe region of Inner Mongolia .....	ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)
Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district .....	GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)
Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau .....	LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)
Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt .....	ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)
The evaluation system of strength of winterness in wheat .....	WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)
A comparison of summer habitats selected by sympatric <i>Apodemus chevrieri</i> and <i>Apodemus draco</i> in Tiangjiahe Nature Reserve, China .....	LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)
Life tables for experimental populations of <i>Frankliniella occidentalis</i> on 6 vegetable host plants .....	CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)
Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach .....	ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)
Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing .....	XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)
Seasonal characteristics of CO <sub>2</sub> fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China .....	SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)
Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of Tuocheng County .....	WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)
<b>Review and Monograph</b>	
Recent advances in wetland degradation research .....	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)
A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis .....	YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)
<b>Discussion</b>	
The diversity of the radio-resistant bacteria <i>Deinococcus radiodurans</i> .....	TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)
Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of <i>Caragana korshinskii</i> .....	YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)
<b>Scientific Note</b>	
Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain .....	LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)
Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild <i>Cryptotaenia japonica</i> .....	YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

## 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 4 期 (2012 年 2 月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 2012

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

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

出 版 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:1000717

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

订 购 国外发行  
E-mail:journal@cspg.net  
全国各地邮局  
中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

广告经营  
许 可 证  
京海工商广字第 8013 号

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

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

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

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,

Beijing 100083, China

Distributed by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563

E-mail:journal@cspg.net  
Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933  
9 771000093125  
0 4 >