



文章编号: 1000-4025(2012)05-1021-06

# 长江源区高山嵩草物候与生物量动态 及其对气候变化的响应

黄瑞灵<sup>1,2</sup>, 周华坤<sup>2\*</sup>, 刘泽华<sup>1</sup>, 徐维新<sup>3</sup>, 魁武<sup>4</sup>

(1 青海师范大学, 西宁 810008; 2 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 3 青海省气象局, 西宁 810005; 4 青海省牧草良种繁殖场, 青海同德 813201)

**摘要:** 利用青藏高原腹地江河源头的曲麻莱县气象站 1994~2004 年观测的高寒嵩草草甸优势种高山嵩草的生育期、高度、产量等指标与同期气象资料, 通过定量分析研究较长时段的物候及生物量变化特征, 以揭示其对气候变化的响应。结果表明: (1) 高山嵩草返青期和开花期的变化总体均呈“W”形, 在区域气候变暖背景下, 植物物候表现为返青期提前, 开花期和枯黄期推迟, 整个生长季延长。(2) 高山嵩草的生物量变化在 10 年间呈明显的波动趋势, 各月最高生物量均出现在 1999 年, 最低生物量出现在 1994 年。(3) 高山嵩草物候期与生长季各月气温呈显著的正相关关系 ( $P < 0.001$ ), 与月降水量呈弱正相关关系 ( $P > 0.05$ ); 月均气温成为本区草本植物发芽生长的先决条件, 且 6~8 月气温与植物萌动的相关性最大。(4) 生长季 6~8 月高山嵩草生物量鲜重和干重均与月均气温呈显著正相关, 鲜重仅与月降水量呈显著正相关关系, 在青藏高原的高寒区, 温度比降水对植物产量的影响更大。

**关键词:** 长江源区; 高山嵩草; 物候; 生物量; 气候变暖; 响应

中图分类号: Q948.112+.9 文献标志码: A

## Response of *Kobresia pygmaea* Phenology and Biomass to Climate Change in the Yangtze River Headwaters Region

HUANG Rui-ling<sup>1,2</sup>, ZHOU Hua-kun<sup>2\*</sup>, LIU Ze-hua<sup>1</sup>, XU Wei-xin<sup>3</sup>, KUI Wu<sup>4</sup>

(1 Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 2 Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810001, China; 3 Qinghai Meteorological Bureau, Xining 810005, China; 4 Qinghai Forage Thoroughbred Breeding Grounds, Tongde, Qinghai 813201, China)

**Abstract:** With the data of *Kobresia pygmaea* growth period, plant height and yield during 1994 to 2004 from Qumalai county in the Yangtze river headwater region, we investigated the relationships between climate change and *K. pygmaea* phenology and biomass. The results indicated that: (1) The greenup stage and florescence of *K. pygmaea* appeared a shape of w in general. Under the background of regional climate warming, the growth season prolonged by advanced greenup and delayed florescence and wilting. (2) Biomass of *K. pygmaea* changed apparently during the past 10 years. The highest biomass of *K. pygmaea* in each month appeared in 1999, the lowest was in 1994. (3) The phenophase of *K. pygmaea* showed a significantly positive correlation ( $P < 0.001$ ) with monthly temperature in its growing season and a weak correlation with monthly precipitation ( $P > 0.05$ ). Average monthly temperatures appeared to be a prerequisite in ger-

\* 收稿日期: 2011-12-19, 修改稿收到日期: 2012-03-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2009CB421102); 国家自然科学基金项目(41030105, 31172247); 中科院知识创新工程重要方向项目课题(KSCX2-YW-Z-1020-02); 中科院战略性先导科技专项子课题(XDA05070202); 国家科技支撑课题专题(2011BAC09B06-02, 2009BAC61B02-01); 青海省国际合作项目(2009-J-807)

作者简介: 黄瑞灵(1984-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事草地生态学研究. E-mail: akhuang001@163.com

\* 通讯作者: 周华坤, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事高寒草地恢复生态学研究. E-mail: qhzhkhk1974@yahoo.com.cn

minating and growing of local herbs, especially from June–August. (4) Fresh-and dry-weight of *K. pygmaea* in growing season from June to August were positively associated with monthly average temperature, while fresh weight only had positive correlation with monthly precipitation. In summary, temperature has greater influence on vegetation biomass than that of precipitation in Qinghai-Tibet Plateau.

**Key words:** the Yangtze River headwaters region; *Kobresia pygmaea*; phenology; biomass; warming; response

近年来,随着全球气候的变暖,导致陆地生态系统各种生态要素如植物物候,植物群落结构、生物生产量以及物种多样性等发生了显著变化,引起区域水能循环系统发生深刻变化,继而对整个地球系统产生了一定影响<sup>[1]</sup>. 作为植物对气候变化最明显和敏感的响应特征,植物物候变化是一种植物对气候与环境变化最敏感且易观测的综合标志. 几十年的研究证明,植物物候对自然因素和人类活动所引起的环境变化将产生不同程度的反应,有的植物花期物候由于环境因素的变化而提前,有的则推迟<sup>[2-3]</sup>. 物候期的变化最终直接影响到植物各个时期的产量,即生物量. 青藏高原被喻为世界的“第三极”,是气候变化的敏感区,对亚洲乃至全球的气候变化都有着极为明显的影响<sup>[4-5]</sup>. 相关研究证明<sup>[6]</sup>,青藏高原气温的升温幅度大于全国的平均水平,而降水量的变化各地不一致,差异较大. 为此,本研究以青藏高原腹地长江源头的高山嵩草草甸为对象,通过定量分析研究较长时段的物候及生物量变化特征,以揭示其对气候变化的响应,为青藏高原植被保护、高寒草地生态系统管理和应对全球气候变化提供理论支持和参考依据.

## 1 研究区概况

研究区位于青藏高原腹地曲麻莱县(位于青海省境西南部,玉树藏族自治州境北部). 地处青南高原江河源头,横跨通天河(长江)、黄河两大水系. 地理坐标为东经 95°45′00″~95°48′00″;北纬 34°12′00″~34°13′30″,县境西北部为宽谷大滩,地域辽阔,东南重山叠岭,县域内平均海拔 4 500 m 以上,其中县城海拔 4 226 m. 年均气温 -3.3℃,无绝对无霜期,年均降水量 380~470 mm,有天然草场 282.21 万 hm<sup>2</sup>,其中可利用草场面积达 152.63 万 hm<sup>2</sup>,多属高山草甸.

## 2 材料和方法

利用曲麻莱县气象站 1994~2004 年观测的高寒嵩草草甸优势种高山嵩草的生育期、高度、产量等

指标与同期气象资料进行对比分析;生育期包括返青、开花、黄枯 3 个阶段;气象资料包括气温、降水、日照等常规观测的旬、月、年资料. 应用 SPSS 13.0 统计中的 Person 相关分析法,气温、降水量等因子对牧草生长发育影响程度及高山嵩草生物量与物候变化进行相关性分析. 用多元回归分析法拟合获得高山嵩草生物量与气温、降水量间的回归方程,并进行显著性检验.

## 3 结果与分析

### 3.1 近 40 年气温和降水的变化趋势

由图 1, A 可知,研究区 1963~2004 年年均气温的趋势是逐步上升的,由 1963 年的 -3.1℃ 增加到 2004 年的 -1.3℃,气温递增率为 0.27℃/10a, 41 年的平均气温为 -2.15℃. 这与整个全球和青藏高原的气候变暖的大背景相一致<sup>[7]</sup>. 据已有研究<sup>[8]</sup>,加上同期全球和青藏高原的气温递增速率进行比较,从气温的波动趋势可以看出,1985 年为近 41 年中的最冷年,年均温为 -3.5℃;最温暖的年份出现在 2003 年,年均温为 -1.0℃. 气温的两年滑动平均趋势线分析显示,1963~2004 年间研究区气温变化可分为以下 3 个时期:1963~1974 年为波动增温期;1975~1986 年为降温期;1989~2004 年为增温期.

年降水量的变化也呈增加趋势,从 1963 年的 231.3 mm 增加到 2004 年的 481.9 mm,增加了 1 倍多,41 年间年降水量的递增率为 55.09 mm/10a (图 1, B). 降水量的 2 年移动平均趋势分析显示近 41 年来研究区年降水量波动可分为 2 个时期:1963~1979 年少雨期,平均降水量为 226.5 mm;1980~2004 年多雨期,平均降水量增加到 406.8 mm. 第一个时期的降水量变化表现为减少(1963~1968)-增加(1969~1975)-减少(1976~1979)的趋势,值得特别注意的是在第二个时期,年降水量变化又可分为增加(1980~1989)-减少(1990~1997)-增加(1998~2004)3 个阶段. 从降水量的分阶段变化趋势中可看出研究区年降水量变化增加阶段持续的时间要比

减少的时间长.本研究结果曲麻莱县的降水量的增加趋势与汪青春等<sup>[9-10]</sup>的研究结果一致.

为进一步说明研究区气温和降水月变化特征,本实验就 1994~2004 年近 10 年的月均气温和月降水量变化特点进行分析,结果(图 2)显示,研究区 10 年来月均气温在-10.36℃~9.29℃间变化,1994~2004 年近 10 年来月均气温为-1.66℃;月降水量在 3.83~108.62 mm 间变化,10 年月均降水量为 44.35 mm.月均气温和月降水量变化特征说明研究区近 10 年来最高气温对应最大降水,雨热主要集中在 6~8 月,表现为雨热同期.这一结果与同一地

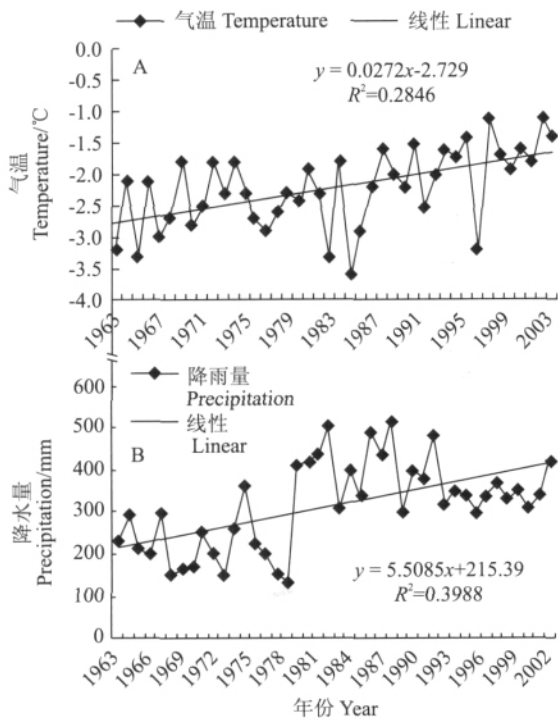


图 1 研究区 1963~2004 年年均气温和年降水量变化  
Fig.1 Changes of annual average temperature and precipitation in researched area during 1963~2004

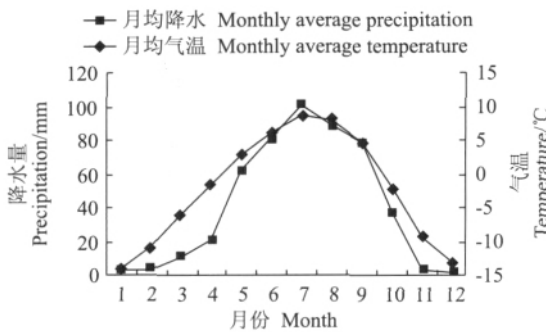


图 2 研究区 1994~2004 年月均气温和月降水量变化  
Fig.2 Changes of monthly average temperature and precipitation in researched area during 1994~2004

区贾顺斌等<sup>[11]</sup>的研究结果相同.

### 3.2 高山高草的物候期变化特征

由图 3 可以看出,1994~2004 年间高山高草返青的时间变化总体呈“W”形,且它的时间总体在提前,返青最迟的年份出现在 1992 年(6 月 12 日返青);最早出现在 2001 年,时间为 5 月 12 日,最大时差为 30 d.开花期的变化趋势也呈“W”形,最晚的开花期出现在 1995 年,时间为 8 月 3 日;最早开花期出现在 2001 年,时间为 5 月 26 日.高山高草的枯黄期表现为显著推迟特征,枯黄期最早出现在 1994 年,时间为 8 月 17 日,最晚出现的年份为 2004 年,时间为 9 月 26 日,最大时差为 39 d.植物物候是植物内、外因(如气候、土壤、地形、人类干扰等)相互作用产生的周期性现象<sup>[12]</sup>.本研究区——曲麻莱县作为三江源的核心区,海拔高、气候条件恶劣,自然条件严酷,生态环境脆弱,对全球气候变化较为敏感.在全球气候变暖的大背景下,该区域气候也表现出此特征,一定程度上影响了该区域的主要草地类型:高山高草草甸,反映在优势植物高山高草的物候上,正好是返青提前,开花期和枯黄期推迟,整个生长季延长.这与 Myneni 等<sup>[13]</sup>、Tucker 等<sup>[14]</sup>和 Zhou 等<sup>[15]</sup>报道的结果一致,他们认为全球变暖引起植物生长季提前,秋季物候期推迟,生长季延长.王宏等<sup>[16]</sup>对中国北方植被生长季变化的研究也发现青海地区的植被生长季开始较早,青海大部分地区的植被生长季有明显的延长趋势.宋春桥等<sup>[17]</sup>对藏北高原植被物候时空动态变化的遥感监测研究

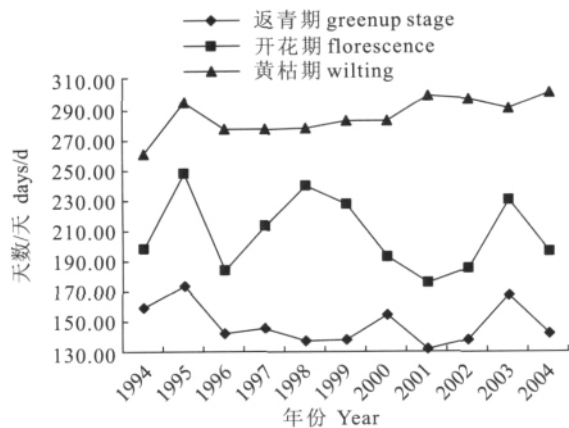


图 3 研究区 1994~2004 年高山高草群落的物候期变化  
纵坐标的天数为自 1 月 1 日起的天数  
Fig.3 Change of *K. pygmaea* biocoenosi phenology during 1994~2004  
The number of days of y-coordinate starts from January 1st

结果也显示,藏北高原近 60%区域的植被返青期提前,特别是高山地区.

3.3 高山嵩草的生物量变化特征

高山嵩草种群的生物量变化在 11 年间呈明显的波动趋势. 各月最高生物量均出现在 1999 年,6~8 月生物量鲜重在 153.0~263.0 g/m<sup>2</sup> 间变化,干重在 94.0~143.0 g/m<sup>2</sup> 间变化;最低生物量出现在 1994 年,6~8 月生长季生物量鲜重在 39.0~64.0 g/m<sup>2</sup> 间变化(图 4,A),干重在 28.0~44.0 g/m<sup>2</sup> 间变化(图 4,B);最高与最低生物量鲜重间相差 6.74 倍;干重间相差 5.11 倍.就 6~8 月生长季生物量而言,最大生物量出现在 7 月,最低值出现在 6 月,即 7 月为高山嵩草生长的旺盛期(图 4,A,B).7 月是全年牧草的生长旺季,达到盛草期,月平均生物量达到最高,这与方金等的研究结果一致<sup>[18]</sup>.7 月研究区日照时数较长,雨水充沛,因此是适合草地生长和放牧的最佳时期.

高山嵩草种群的生物量在年际间的这种变化特征也对应于一定的气候特征.如 1999 年,研究区 6~8 月气温温差很小,月均气温维持在 8℃左右(图 5,A),月降水量,特别是 6 和 7 月份降水量较高,均在 130 mm 左右(图 5,B).这样,水热条件可以说达到了最佳,因此,具有最高的生物量.相反,生物量最低的 1994 年而言,7 和 8 月虽然温度均较高,6 月的温度偏低,降水量也是 6 和 8 月偏少(图 5,B),因此,生长季冷干-湿热-冷干的这种水热组合不利于高山嵩草快速和良好生长,导致生物量偏低.

3.4 高山嵩草物候期、生物量与气候因子的关系

高山嵩草种群物候期返青、开花、黄枯 3 个时期的天数与对应的月均气温、月降水量的相关关系(图 6)显示,高山嵩草整个物候期天数与生长季各月气温呈显著的正相关关系( $P < 0.001$ ),且表现为指数函数关系;与月降水量呈弱正相关关系( $P > 0.05$ ),表现为线性关系.这种相关关系说明由于研究区日均气温低,成为莎草科草本植物发芽生长的先决条件.据宋春桥等<sup>[17]</sup>的报道年平均气温的年际变化和升温趋势对藏北高原植被的返青期提前和生长季延长有直接影响,年降水量对其影响较少.祁如英等<sup>[18]</sup>对青海 8 个站点的草本植物物候记录也显示气温对大部分站点的植被返青、枯黄和生长季长度造成影响,而降水与日照仅与个别站点的物候变化相关.导致青藏高原地区植物物候受气温变化显著的原因是由于在青藏高原,当日平均气温达到 3℃时,牧草开始萌发生长,但生长速率缓慢,3℃被认为

是高寒草甸生长发育的低温临界值,日平均气温达到 5℃时牧草生长发育进程和干物质积累加快<sup>[19-20]</sup>.但也有不一致的报道,如邱丹等<sup>[21]</sup>对青海省草本植物物候与气候变化关系的研究发现,不仅温度对植被返青造成影响,前一年秋季的降水及该年春季的降水也将影响物候的变化.因此,需要对高原植物物候变化的内在机制进行进一步研究,这样才能搞清楚影响植物物候的关键因素.

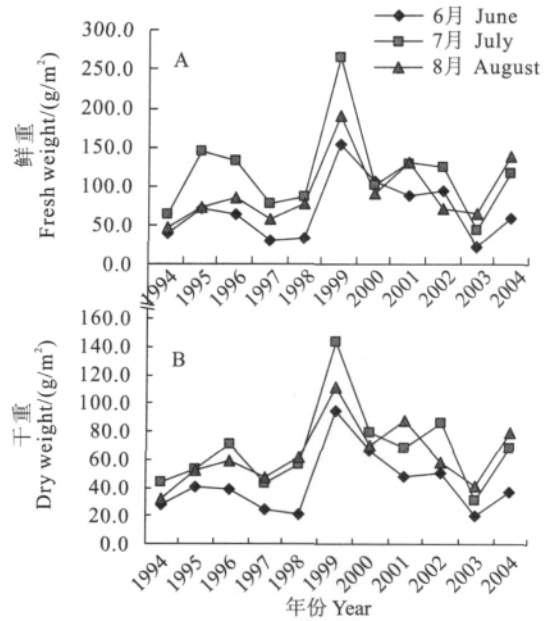


图 4 研究区 1994~2004 年高山嵩草群落生物量变化  
Fig.4 Changes of biomass of *K. pygmaea* community during 1994~2004

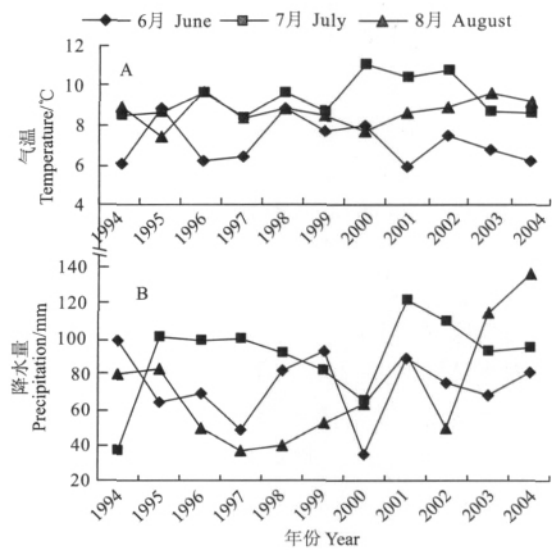


图 5 研究区 1994~2004 年生长季(6~8 月)气温和降水变化

Fig.5 Changes of temperature and precipitation in growth season (June-August) during 1994~2004

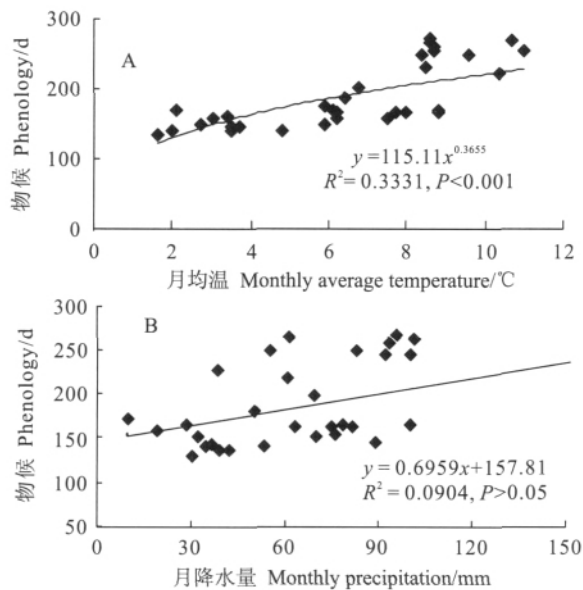


图 6 高山嵩草群落物候(返青期、开花期、枯黄期) 天数与月均气温、月降水量的关系

Fig. 6 Relationship between phenology of *K. pygmaea* community and monthly average temperature, precipitation

表 1 高山嵩草地上月均生物量与月均气温、 月降水量的相关关系

Table 1 Relationship between aboveground biomass, monthly average temperature and precipitation

	月均气温 Monthly average temperature	月降水量 Monthly average precipitation
鲜重 Fresh weight	0.33*	0.24*
干重 Dry weight	0.39*	0.16

注: \*表示相关性显著 ( $P < 0.05$ ); \*\*表示相关性极显著 ( $P < 0.01$ ).

Note: \* stands for significant correlation ( $P < 0.05$ ); \*\* stands for extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ).

高山嵩草种群生物量与气温、降水的相关关系(表 1)显示,生长季 6~8 月高山嵩草种群生物量鲜重和干重均与月均气温呈显著的正相关,鲜重仅与月降水量呈显著正相关关系.此结果也说明在青藏高原的高寒区,温度比降水对植物产量的影响更大.

方金等<sup>[22]</sup>报道高寒草甸地上生物量对气温的响应表现为正效应;魏永林等<sup>[23]</sup>的研究结果也表明,气候变化对草地生物量和生态环境的影响温度大于降水,降水量对生态环境的影响主要表现在降水量的年际波动和年内各季节分布的差异上.而王启基等<sup>[24]</sup>报道矮嵩草草甸地上生物量主要与气温年较差、4 月份降水量、5 月份平均气温、年降水量呈正相关,而与 1 月份平均气温呈负相关;李英年等<sup>[25]</sup>发现矮嵩草高寒草甸地上生物量与当年 1 月

份的平均气温、4 月份土壤 20 cm 的平均温度和 4 月份的降水量密切相关.因此,今后还需考虑其他气候因素对高山嵩草种群生物量的作用.

另外,综合生长季 6~8 月高山嵩草生物量(图 4)与气温、降水的变化趋势(图 5)也可发现,生物量是气温和降水的最佳组合的函数,经多元回归分析,其方程为:

$$B_{fw} = -494 + 129T_m + 3.66P_m \quad (1)$$

$$B_{dw} = -207 + 80.4T_m + 1.20P_m \quad (2)$$

方程(1)和(2)分别为高山嵩草生物量的鲜重( $B_{fw}$ )和干重( $B_{dw}$ )与月均气温( $T_m$ )和月降水量( $P_m$ )的拟合方程,经检验均达到显著水平( $P < 0.05$ ).这与王启基等<sup>[26]</sup>根据青海省 35 个县的草地资源的调查资料建立的嵩草草甸地上生物量与年降水量和年均温的逐步回归数学模型较为接近,两者均为二元一次线性回归方程.另外,由于植物生长受各种环境因子的综合作用和影响<sup>[8]</sup>,本研究仅考虑了气温和降水,其它因子的作用和贡献差异需进一步研究确定.

## 4 讨 论

植被物候的变化表明气候变暖可能导致物种间相互作用的脱节,就气候变化而言,物候是生态系统响应的感应器,由气候驱动的植物动态变化将影响到物种间的相互作用并最终影响到生态系统的组成和结构.平均温度的改变和温度分布型式的改变都会影响、甚至强化这些相互作用,因为这样的变化可能改变物种间的同步性<sup>[27]</sup>.不同的物种对气候变化的响应不尽相同,但大量的物候变化都表明了春季提前,秋季黄枯推迟,整个生长季延长的现象.气候变暖引起物候的变化及由此产生的生态学问题值得重视.因为青海地形复杂,高寒植物对气候微小变化的响应十分敏感.本研究通过对曲麻莱县 41 年气象资料分析以及对 11 年高山嵩草种群的物候及生物量动态变化监测资料的讨论,得出如下结论:(1)研究区 1963~2004 年,当地气温呈显著抬升趋势,同期降水量也呈现出增加趋势;(2)1994~2004 年曲麻莱秋季物候期,呈明显推迟趋势,这与当地同期内秋季降温速度慢的气候特点有着良好的对应关系.高山嵩草物候期与生长季气温呈显著正相关关系,与降水量呈弱正相关关系;(3)高山嵩草种群的生物量变化在 11 年间呈明显的波动趋势.生物量是气温和降水最佳组合的函数,但不是简单的线性关系;(4)植物物候是气象、水文、土壤、生态环境等综合影

响的反应,本研究仅对气象条件进行了分析和讨论,其它因子的影响还有待于进一步研究.

### 参考文献:

- [1] 赵新全,李英年,曹广民,等.高寒草甸生态系统与全球变化[M].北京:科学出版社,2009.
- [2] GIAN-RETO W,POST E,CONVEY P *et al.* Ecological responses to recent climate change[J].*Nature*,2002,416:389-395.
- [3] FITTER A H,FITTER S R. Rapid changes in flowering time in British plants[J].*Science* 2002,296:1 689-1 691.
- [4] 孙鸿烈.青藏高原的形成与演化[M].上海:上海科学技术出版社,1994.
- [5] FENG S(冯松),TANG M C(汤懋苍),WANG D M(王冬梅). The Qinghai-Tibet plateau is the evidence of China's climate change start [J].*Science Bulletin (科学通报)*,1998 **43**(6):633-636(in Chinese).
- [6] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)[J].*Int. Legal Mater*,1992,31:849-856.
- [7] IPCC WGI. Third Assessment Report:Summary to Policy-makers[R].2001.
- [8] LI Y N(李英年),ZHAO X Q(赵新全),*et al.* The dynamic features of ecosystem environment and plant productivity in the source regions of the Yangtze River and Yellow River[J].*Journal of Mountain Science (山地学报)*,2008 **26**(3):678-683(in Chinese).
- [9] WANG Q CH(汪青春),QIN N SH(秦宁生),TANG H Y(唐红玉). Study on climate change facts and their characteristics in the Qinghai Plateau in recent 44 years[J].*Arid Zone Research (干旱区研究)*,2007 **24**(2):234-239(in Chinese).
- [10] FU Y(伏洋),ZHANG G SH(张国盛),LI F X(李凤霞). Environmental response to climate change in the Qinghai Plateau[J].*Arid Zone Research (干旱区研究)*,2009 **26**(2):267-276(in Chinese).
- [11] JIA SH B(贾顺斌),ZHAO J ZH(赵建中),ZHOU H K(周华坤). Variation trend of temperature and precipitation and correlation analysis in Maqin County during 1995~2004[J].*Journal of Anhui Agriculture Science (安徽农业科学)*,2011 **39**(18):10 960-10 961,11 037(in Chinese).
- [12] 竺可桢,宛敏渭.物候学[M].北京:科学出版社,1980.
- [13] MYNENI R B,KEELING C D,TUCKER C J *et al.* Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991[J].*Nature*,1997,386:695-702.
- [14] TUCKER C J,SLAYBACK D A,PINZON J E *et al.* Higher northern latitude photosynthetic and growing season trends from 1982 to 1999[J].*International Journal of Biometeorology*,2001,45:184-190.
- [15] ZHOU L,TUCKER C J,KAUFMANN R K *et al.* Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999[J].*Journal of Geophysical Research*,2001 **106**(D17):20 069-20 083.
- [16] WANG H(王宏),LI X B(李晓兵),LI X(李霞). The variability of vegetation growing season in the northern China based on NOAA NDVI and MSAVI from 1982 to 1999[J].*Acta Ecologica Sinica (生态学报)*,2007 **27**(2):504-515(in Chinese).
- [17] SONG CH Q(宋春桥),YOU S C(游松财),KE L H(柯灵红). Dynamic change of spatial and temporal of vegetation phenology in northern Tibet monitored by remote sensing[J].*Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*,2011 **35**(8):853-863(in Chinese).
- [18] QI R Y(祁如英),WANG Q L(王启兰),SHEN H Y(申红艳). Analysis of phenological-phase variation of Herbage plants over Qinghai and impact of meteorological conditions[J].*Meteorological Science and Technology (气象科技)*,2006 **34**(3):306-310(in Chinese).
- [19] 周兴民.中国嵩草草甸[M].北京:科学出版社,2001.
- [20] GUO L Y(郭连云),DING SH X(丁生祥),WU R(吴让). Effect of climate change on the forages in natural grassland of Xinghai County in Three-river headwaters region[J].*Pratacultural Science (草业科学)*,2009 **26**(6):90-95(in Chinese).
- [21] QIU D(邱丹),ZHANG G SH(张国胜). Influence of Qinghai-Tibet Plateau climate variation on cold plateau grassland ecologic system in southern area[J].*Qinghai Science and Technology (青海科技)*,2000 **7**(2):23-25(in Chinese).
- [22] FANG J(方金),HUANG X D(黄晓东),WANG W(王玮). The grass biomass in Tibet Plateau monitored by dynamic remote sensing[J].*Pratacultural Science (草业科学)*,2011 **28**(7):1 345-1 351(in Chinese).
- [23] WEI Y L(魏永林),ZHANG SH K(张盛魁),XU C P(许存平). Effect of climate change on the biomass and ecological environment in natural meadow of Haibei County[J].*Qinghai Meteorology (青海气象)*,2007,2:16-19(in Chinese).
- [24] WANG Q J(王启基),ZHOU X M(周兴民). Community structure and biomass dynamic of the *Kobresia pygmaes* steppe meadow[J].*Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*,1995 **19**(3):225-235(in Chinese).
- [25] 李英年,王启基,周兴民.矮嵩草草甸地上生物量与气候因子的关系及其预报模式的建立[C]//中国科学院海北高寒草甸生态系统定位研究站,高寒草甸生态系统,1995,4:1-10.
- [26] WANG Q J(王启基),WANG W Y(王文颖),*et al.* The dynamics of biomass and the allocation of energy in *Alpine kobresia* meadow communities,Haibei Region of Qinghai Province[J].*Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*,1998 **22**(3):222-230(in Chinese).
- [27] HARRINGT on R,WOIDWODL,SPARKS T. Climate change and trophic interactions[J].*Trends Ecol. Evol.*,1999 **14**(4):146-150.