

DOI: 10.5846/stxb201808091691

韩炳宏, 周秉荣, 赵恒和, 石明明, 孙璞, 牛得草, 傅华. 三江源区草地植被返青及其与气候因子关系. 生态学报, 2019, 39(15): - .  
Han B H, Zhou B R, Zhao H H, Shi M M, Sun Y, Niu D C, Fu H. Relationships between grassland vegetation turngreen and climate factors in the Three-river Resource region. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(15): - .

## 三江源区草地植被返青及其与气候因子关系

韩炳宏<sup>1,2</sup>, 周秉荣<sup>1,3,\*</sup>, 赵恒和<sup>1,2</sup>, 石明明<sup>1,3</sup>, 孙璞<sup>1,2</sup>, 牛得草<sup>4</sup>, 傅华<sup>4</sup>

1 青海省海南州气象局, 共和 813099

2 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001

3 青海省气象科学研究所, 西宁 810001

4 草地农业生态系统国家重点实验室 兰州大学, 兰州 730020

**摘要:**为厘清三江源地区草地植被返青及其与气候因子的关系。以三江源地区为研究对象, 选取该区 2003—2012 年日照时数、平均气温和降水以及草地植被返青资料, 采用线性倾向率和 Pearson 相关分析法, 较为系统地分析探讨了近 10 年三江源地区气候变化趋势及其与草地植被返青的相关关系。结果表明: (1) 近 10 年来, 三江源地区草地植被返青呈“提前—推迟—再提前—再推迟”的变化趋势。(2) 海拔 4000 m 以上的地区草地植被返青期极差较大, 相差约 40 d; 且高寒草原和高寒荒漠草地植被返青时间突变最为显著。(3) 三江源地区草地植被返青日期与返青期前 30 d 光、温、水的相关性较好。除局部地区草地植被返青与光、温、水呈显著负相关外, 其余地区均显著正相关。以上研究结果表明, 三江源地区草地植被返青期不是由单一因素决定, 而是光照、气温和降水等因素综合作用的结果。

**关键词:**三江源区; 草地植被; 返青期; 气候因子

## Relationships between grassland vegetation turngreen and climate factors in the Three-river Resource region

HAN Binghong<sup>1,2</sup>, ZHOU Bingrong<sup>1,3,\*</sup>, Zhao Henghe<sup>1,2</sup>, SHI Mingming<sup>1,3</sup>, SUN Ying<sup>1,2</sup>, NIU Decao<sup>4</sup>, FU Hua<sup>4</sup>

1 Meteorological bureau of Hainan Tibetan autonomous prefecture, Gonghe 813099, China

2 Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation of Qinghai Province, Xining 810001, China

3 Institute of Meteorological Science of Qinghai Province, Xining 810001, China

4 State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China

**Abstract:** The aim of this study was to specify the grassland vegetation turngreen date and its relationships with climate factors over the Three-river Resource region, which was used as the research area in this study. The sunshine hours, average temperature and precipitation, grassland vegetation turngreen information data from 2003 to 2012, linear trend rate, and Pearson's correlation analysis were used to systematically analyze and explore the climate change trend and its correlation relationships with grassland vegetation turngreen date over the Three-river Resource region. The results showed that the trend for grassland vegetation turngreen date was “ahead- postpone- ahead- postpone” across the region over the past 10 years. The maximum difference for vegetation turngreen date at over 4000 m above sea level and the climate factors was about 40 days. Furthermore, the most significant change trends were for grassland vegetation in alpine steppe and alpine desert areas. There was generally a good correlation between grassland vegetation turngreen date and sunshine, temperature, and precipitation 30 days before the turngreen date. However, there was a significant negative correlation between grassland

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0501903)

收稿日期: 2018-08-09; 网络出版日期: 2019-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zbr0515@foxmail.com

vegetation turngreen date and sunshine, temperature, and precipitation in some parts of the Three-river Resource region, but there was a significant positive correlation across the rest of the region. The results showed that the grassland vegetation turngreen date was not determined by a single factor in the Three-river Resource region but was affected by a combination of sunshine, temperature, and precipitation.

**Key Words:** Three-river Resource region; grassland vegetation; Turngreen date; climate factors

草地植被物候是植物对气候变化及外界环境条件的响应而表现出的周期性自然现象<sup>[1]</sup>,是植物长期适应环境的季节性变化而形成的生长发育节律<sup>[2]</sup>,同时亦是反映和描述气候与植被间相互关系的重要术语<sup>[3]</sup>。草地植被物候不仅在农牧事预报、农牧业生产活动以及早熟品种的引种和选育等方面发挥重要作用<sup>[2]</sup>,而且还是全球植被反演及陆面过程(Community Land Model)模拟的重要参数<sup>[4]</sup>,对增进植被在应对气候变化响应的理解以及地—气间物质与能量交换的模拟精度的提高具有重要意义<sup>[5]</sup>。另外,草地植被物候在草地生态系统功能中扮演着重要角色<sup>[6]</sup>,植被物候期和生长季长度的变化可能引起碳、水循环过程的急剧变化<sup>[7-8]</sup>,进而引起区域气候系统的相应改变<sup>[9-10]</sup>。此外,在全球气候变化背景下,天然草地植被物候对气候变化尤为敏感,被誉为草地植被对气候变化响应的“最佳指示器”<sup>[11]</sup>和全球变化的“诊断指纹”<sup>[12-13]</sup>。因此,分析探讨气候变化敏感区的草地植被物候变化及其生产力具有重要意义<sup>[14]</sup>。

三江源地区属世界屋脊—青藏高原腹地,位于青海省南部,地理位置为 31°39′—36°12′ N, 89°45′—102°23′ E, 平均海拔 3500—4800 m 左右。其高寒植被物候与海拔的关系呈现出明显的地域分异特征,且不同地区、不同植被类型尺度上的草地植被物候也存在较大差异<sup>[15-16]</sup>。孔冬冬等<sup>[1]</sup>运用偏最小二乘法回归(PLS)研究物候变化的气候成因时发现,高寒草甸与高寒灌木草甸是青藏高原物候变化最剧烈的植被分区。段晓凤等<sup>[17]</sup>在研究分析宁夏盐池牧草返青期及生产潜力时,发现牧草返青呈现逐年提前的趋势;宋春桥等<sup>[18]</sup>通过遥感监测研究了藏北高原植被物候时空动态变化,指出植被返青期在空间上表现出由东南向西北逐渐推迟的趋势,且返青期提前及生长季延长主要受气温升高的影响。尽管三江源地区植被返青期提前趋势随海拔上升而减缓,但并未出现类似于整个高原在海拔 4700 m 左右的区域由提前趋势转变为推迟趋势的现象<sup>[16,19]</sup>。此外,高海拔地区高寒草地物候年际变化要比低海拔地区复杂<sup>[20]</sup>。目前,有关三江源区牧草方面的研究主要集中在对牧草气候生产潜力的影响因子等<sup>[21-22]</sup>方面,而对生长季牧草生长发育过程及其与气候因子之间的关联研究仍相对甚少。为此,本文针对影响牧草返青期的主要气候因子(光、温、水),采用三江源区 2003—2012 年日照时数、气温和降水资料以及天然草场牧草返青期观测数据,较为系统地分析探讨了该区草场牧草返青期的年际变化趋势及其与光、温、水间的关联特征研究,以期为该区生态植被恢复重建提供基础数据,同时也为该区生态环境保护红线划定方案提供科技支撑。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

三江源是长江、黄河、澜沧江的发源地,源区内河流密布,湖泊、沼泽众多,雪山冰川广布,是世界上海拔最高、面积最大、湿地类型最丰富的地区。属典型的高原大陆性气候,表现为冷热两季交替,干湿两季分明,年温差小,日温差大,日照时间长,辐射强烈,四季区分不明显。冷季为青藏冷高压控制,长达 7 个月,热量低,降水少,风沙大;暖季受西南暖湿气流的影响,水气充沛,降水量多。由于海拔较高,绝大部分地区空气稀薄,植物生长期短。该区年平均温为 -5.6—4.9℃, 年均降水量 391.7—764.0 mm, 年蒸发量在 730—1700 mm 之间, 年日照时数 2300—2900 h, 年辐射量 5500—6800 MJ/m<sup>2</sup>, 沙暴日数约为 19 d 左右<sup>[21]</sup>, 具体信息见(表 1)。

### 1.2 数据来源与方法

鉴于三江源区 2013—2017 年大多数站牧草连续观测资料的缺测及缺失,甚至个别地区无资料,故本文选

取三江源地区 2003—2012 年日照时数、平均气温、降水以及牧草返青数据,以上数据均来自青海省气象信息中心;其中,三江源地区现有 18 个气象站,为建立均一、稳定的气候序列,考虑到气象站搬迁影响,去掉观测较晚、序列较短的治多站以及无牧草物候观测的玉树和五道梁站,选取其余 15 个气象站(表 1)2003—2012 年的日照时数、平均气温及降水量资料进行统计分析;草地类型为高寒草原、高寒草甸、温性草原的各气象站观测的牧草分别为高山早熟禾、垂穗披碱草和西北针茅。按照中国气象局编发的《农业气象观测规范》的标准进行牧草的观测。观测地段内牧草返青株(丛)数占总株(丛)数的 50% 及以上,就代表该地段牧草返青。利用气候倾向率分析年日照时数、年均温及降水量随年份的变化趋势;通过 IBM Spass20.0 软件中的 Pearson 相关对牧草返青日期与返青期前 30 d 的平均日照时数、平均气温和降水进行相关性分析,并利用 Sigmaplot12.5 制图。

表 1 研究区域基本信息

Table 1 The basic information of study areas

站名 Station	站号 No.	纬度 Latitude/N	经度 Longitude/E	海拔 Elevation/m	草地类型 Grassland types
兴海	52943	35°35'	99°59'	3324	温性草原
同德	52957	35°16'	100°39'	3290	温性草原
泽库	52968	35°02'	101°28'	3663	高寒草甸
五道梁	52908	35°13'	93°05'	4614	高寒荒漠
沱沱河	56004	34°13'	92°26'	4534	高寒荒漠
治多	56016	33°51'	95°36'	4181	高寒草原
杂多	56018	32°54'	95°18'	4068	高寒草原
曲麻莱	56021	34°08'	95°47'	4176	高寒草原
玉树	56029	33°01'	97°01'	3682	高寒草原
玛多	56033	34°55'	98°13'	4273	高寒草原
清水河	56034	33°48'	97°08'	4417	高寒草原
玛沁	56043	34°28'	100°15'	3720	高寒草原
甘德	56045	33°58'	99°54'	4051	高寒草甸
达日	56046	33°45'	99°39'	3968	高寒草原
河南	56065	34°44'	101°36'	3501	高寒草甸
久治	56067	33°26'	101°29'	3630	高寒草原
囊谦	56125	32°12'	96°29'	3645	高寒草原
班玛	56151	32°56'	100°45'	3530	高寒草原

## 2 结果与分析

### 2.1 不同年份光温水变化特征

从年际水平可以看出,沱沱河、清水河、达日、河南、囊谦和班玛县的日照时数呈下降趋势,且沱沱河地区的日照时数以 55.4 h/10 a 的速度在显著( $P<0.01$ )减少,其余地区的日照时数均不同程度地增加(表 2)。除班玛地区以 0.5°C/10 a 的速度显著( $P<0.05$ )下降外,其余地区均不同程度地升高;其中,兴海、泽库和曲麻莱地区的平均气温分别以 0.1°C/10 a、0.6°C/10 a 和 0.5°C/10 a 的速度显著( $P<0.05$ )升高。除久治和囊谦地区外,同德、沱沱河、曲麻莱、清水河及甘德地区的降水量分别以 9.5 mm/10 a、10.1 mm/10 a、9.8 mm/10 a、11.3 mm/10 a 和 4.3 mm/10 a 的速度显著( $P<0.05$ )增加,其余地区也略有增加,但不显著。从生长季水平来看,沱沱河地区的日照时数变化趋势与年际变化格局一致,也是以 55.3 h/10 a 的速度显著( $P<0.01$ )减少。整个三江源区生长季平均气温均呈升高趋势;其中,泽库、曲麻莱、清水河、玛沁、甘德、达日和囊谦分别以 0.9°C/10 a、0.9°C/10 a、0.8°C/10 a、0.7°C/10 a、0.7°C/10 a 和 0.8°C/10 a 的速度显著( $P<0.05$ )升高,其余地区升高趋势不明显。除泽库和杂多地区生长季降水变化趋势与年际相反外,其余地区降水变率与年际趋于—

致,且曲麻莱和清水河地区生长季降水以 17.6 mm/10 a 和 15.6 mm/10 a 的速率显著增加( $P<0.05$ )。另外,久治和囊谦地区降水变化趋势在年际和生长季水平上均表现为减少趋势。

表 2 2003—2012 年三江源区平均日照时数、平均气温和降水随年份的变化趋势

Table 2 The variation trend of average sunshine hours, average temperature and precipitation in Three-river Resource region from 2003 to 2012

站名 Station	日照时数 Sunshine hours				平均气温 Average temperature				降水 Precipitation			
	年际水平 Year level		生长季 Growing		年际水平 Year level		生长季 Growing		年际水平 Year level		生长季 Growing	
	斜率	$R^2$	斜率	$R^2$	斜率	$R^2$	斜率	$R^2$	斜率	$R^2$	斜率	$R^2$
兴海(XH)	0.64	0.07	0.68	0.03	0.01	0.40*	0.03	0.09	0.58	0.09	1.39	0.14
同德(TD)	0.11	0.00	-0.14	0.00	0.02	0.02	0.05	0.11	0.95	0.35*	0.17	0.29
泽库(ZK)	0.30	0.01	-0.37	0.01	0.06	0.38*	0.09	0.33*	0.19	0.02	-0.38	0.04
沱沱河(TTH)	-5.54	0.67**	-5.53	0.58**	0.02	0.02	0.06	0.16	1.01	0.34*	1.86	0.25
杂多(ZD)	1.49	0.29	2.43	0.31	0.03	0.05	0.07	0.28	0.14	0.00	-0.12	0.00
曲麻莱(QML)	0.84	0.07	0.62	0.03	0.05	0.36*	0.09	0.52**	0.98	0.36*	1.76	0.38*
玛多(MD)	0.16	0.00	0.27	0.00	0.01	0.01	0.07	0.30	0.74	0.19	1.25	0.19
清水河(QSH)	-0.78	0.08	0.48	0.02	0.06	0.12	0.08	0.36*	1.13	0.58**	1.56	0.50***
玛沁(MQ)	0.95	0.15	0.18	0.00	0.05	0.25	0.07	0.34*	0.36	0.03	0.70	0.04
甘德(GD)	0.27	0.00	0.76	0.02	0.04	0.07	0.07	0.33*	0.43	0.33*	0.60	0.02
达日(DR)	-0.03	0.00	-0.26	0.00	0.03	0.27	0.07	0.33*	0.09	0.01	0.01	0.00
河南(HN)	-0.27	0.01	-0.63	0.01	0.00	0.00	0.05	0.20	0.38	0.27	0.50	0.03
久治(JZ)	0.93	0.07	0.31	0.00	0.00	0.30	0.04	0.13	-0.74	0.11	-1.37	0.11
囊谦(NQ)	-0.48	0.04	0.49	0.01	0.04	0.11	0.08	0.40*	-0.23	0.01	-0.66	0.03
班玛(BM)	-0.30	0.01	-0.62	0.03	-0.04	0.41*	0.02	0.03	0.52	0.14	1.43	0.26

$n=10$ , \*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$ ; 生长季:是指草地植被从返青至黄枯这段时间,高海拔地区通常以 4—9 月份为准; XH,兴海 Xinghai;

TD,同德 Tongde; ZK,泽库 Zeku; TTH,沱沱河 Tuotuohe; ZD,杂多 Zaduo; QML,曲麻莱 Qumalai; MD,玛多 Maduo; QSH,清水河 Qingshuihe; MQ,玛沁 Maqin; GD,甘德 Gande; DR,达日 Dari; HN,河南 Henan; JZ,久治 Jiuzhi; NQ,囊谦 Nangqian; BM,班玛 Banma

## 2.2 不同年份牧草返青期变化

从地理位置的角度来看,位于三江源东北部的兴海和同德地区草地植被返青整体较其他地区提前;相反,沱沱河和清水河较其他地区整体推迟(图 1a)。其中,海拔 4000 m 以上的曲麻莱和清水河地区返青提前与推迟时间相差较大,分别达 49 d 和 41 d;而兴海和河南县相差较小,分别为 8 d 和 10 d。从年际变化趋势来看,

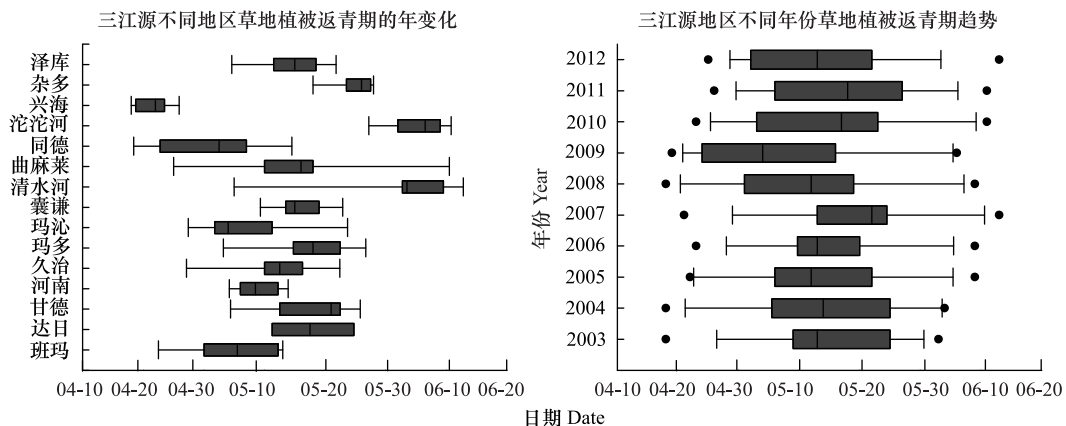


图 1 三江源地区草地植被返青趋势

Fig.1 The trend of grassland vegetation turngreen of Three-river Resource region

图 1a 表示三江源不同地区草地植被返青期的年变化;图 1b 表示三江源地区不同年份草地植被返青期趋势

整个三江源地区草地植被返青期在年际间呈现出“提前—推迟—再提前—再推迟”的变化趋势(图 1b)。其中,2009 年整体有所提前,2007 和 2011 年整体有所推迟。另外,整个三江源不同地区草地植被返青期在不同年份间差异较大。与历年平均相比,同德、泽库、沱沱河、曲麻莱、玛多、清水河、玛沁、甘德、达日、久治及班玛均提前 10 d 及以上,而推迟 10 d 及以上的地区主要有同德、曲麻莱、清水河、玛沁和久治。

### 2.3 草地植被返青日期与海拔高度的关系

为了更加明确三江源地区草地植被返青期与海拔间的关系(图 2),本文以 2003—2012 年间三江源地区草地植被返青最早月的第一天(4 月 1 日)为基准,通过其余返青期与基准时间的差值作为返青天数与海拔之间进行关联研究。分析发现三江源地区草地植被返青期与海拔高度的相关性较好,相关系数( $R$ )达 0.886。整体来看,三江源区草地植被返青日期随海拔的升高呈现整体推迟趋势。

### 2.4 草地植被返青日期与返青期前 30 d 光温水的关系

相关分析结果表明,三江源地区草地植被返青日期与光、温、水的相关性较好(表 3)。除沱沱河、杂多和玛多地区草地植被返青与日照时数的相关性不显著外,其余地区均显著相关。其中,兴海地区日照时数与草地植被返青呈显著的负相关,同德、泽库、曲麻莱、清水河、玛沁、甘德、达日、河南、久治、囊谦和班玛呈显著正相关。玛多、达日和久治地区草地植被返青日期与平均气温呈显著负相关,其余各地均表现为显著正相关。兴海、同德、杂多、达日和囊谦地区草地植被返青日期与降水呈显著负相关关系,而泽库、沱沱河、曲麻莱、玛多、清水河、玛沁、甘德、河南、久治和班玛呈显著正相关关系。

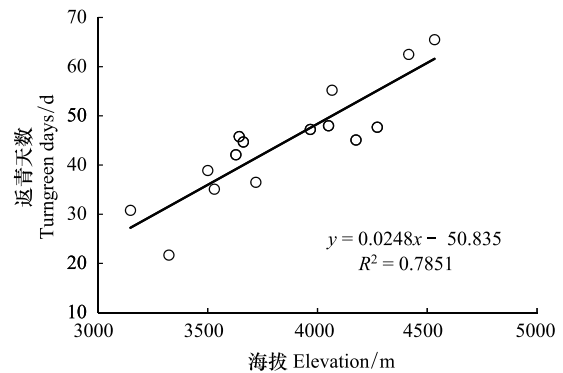


图 2 返青期与海拔的相关关系

Fig. 2 The correlation relationships of the turngreen date and elevation

表 3 2003—2012 年返青期与返青期前 30 d 光温水的相关性分析

Table 3 The correlation analysis among the turngreen date and 30 days average sunshine hours, temperature and precipitation before the turngreen date from 2003 to 2012

站名 Station	日期 Date	日照时数 Sunshine hours		平均气温 Average temperature		降水 Precipitation	
		相关系数 (r)	显著水平 ( $P < 0.05$ )	相关系数 (r)	显著水平 ( $P < 0.05$ )	相关系数 (r)	显著水平 ( $P < 0.05$ )
兴海(XH)	22/4	-0.633 *	0.050	0.556 *	0.025	-0.633 *	0.050
同德(TD)	1/5	0.812 *	0.004	0.523 *	0.038	-0.682 *	0.030
泽库(ZK)	15/5	0.915 *	0.000	0.523 *	0.038	0.718 *	0.019
沱沱河(TTH)	5/6	0.229	0.524	0.600 *	0.016	0.634 *	0.049
杂多(ZD)	25/5	0.446	0.196	0.689 *	0.009	-0.639 *	0.047
曲麻莱(QML)	16/5	0.764 *	0.010	0.733 *	0.003	0.764 *	0.010
玛多(MD)	18/5	0.408	0.241	-0.511 *	0.040	0.773 *	0.009
清水河(QSH)	2/6	0.640 *	0.046	0.514 *	0.050	0.640 *	0.046
玛沁(MQ)	7/5	0.789 *	0.007	0.535 *	0.036	0.659 *	0.038
甘德(GD)	18/5	0.685 *	0.029	0.538 *	0.033	0.685 *	0.029
达日(DR)	18/5	0.731 *	0.016	-0.523 *	0.038	-0.801 *	0.005
河南(HN)	9/5	0.768 *	0.010	0.851 *	0.001	0.723 *	0.018
久治(JZ)	13/5	0.692 *	0.027	-0.506 *	0.046	0.787 *	0.007
囊谦(NQ)	16/5	0.686 *	0.028	0.636 *	0.013	-0.721 *	0.019
班玛(BM)	5/5	0.653 *	0.041	0.644 *	0.011	0.714 *	0.020

表中日期列数据表示日/月; \* :  $P < 0.05$

### 3 讨论

通过对三江源区草地植被返青期及其与气候变化因子(光、温、水)的关联研究,发现三江源不同地区草地植被返青日期在年际间分布差异较大。与 20 世纪 90 年代及其以前相比,三江源地区草地植被返青日期整体呈不显著提前趋势。大量有关草地植被物候始期(返青期)的研究表明,不同地区草地植被返青日期差异主要体现在物种水平、植被类型、区域差异及地形地貌特征等方面<sup>[22-26]</sup>。来自青藏高原的研究资料表明,青藏高原草地植被返青自东南向西北逐渐推迟,枯黄期逐渐提前,植被生长季缩短<sup>[2,22]</sup>;邓晨晖等<sup>[23]</sup>探讨了 1964—2015 年秦岭地区植物物候,发现 52 年来秦岭地区植物物候始期以 1.2 d/10 a 的速率提前,物候末期以 3.5 d/10 a 的速率推迟,整个生长季延长;苗百岭等<sup>[24]</sup>通过研究内蒙古不同草原类型植物物候时指出草地植被返青整体呈提前趋势,典型草原平均提前 4.01 d、草甸草原提前 2.04 d、荒漠草原提前 1.32 d;韩富贵等<sup>[25]</sup>发现马蔺整个生长季以 0.8 d/10 a 的速度延长;李夏子等<sup>[26]</sup>人研究表明锡林浩特克氏针茅和羊草返青期推迟,而镶黄旗和察右后旗呈提前趋势。由于上述研究的区域及方法与本研究不同,故所得结果与本研究有所差异。也有研究表明,整个青藏高原地区草地植被返青对海拔效应极为敏感,返青期的提前趋势大致存在 3 个海拔界线,即 3200 m、3400 m 和 3500 m,界线以下地区草地植被返青提前趋势随海拔上升呈现出分歧状态,其上草地植被返青日期与海拔关系表现为收敛状态<sup>[2-3,22]</sup>。本研究发现,三江源地区草地植被返青具有显著的海拔效应。尤其高海拔地区草地植被返青日期极差较大,而低海拔区相对较小。这可能受当地地形因素的影响,因为地形不仅影响降水的形成,还会影响其分布和强度<sup>[2-3]</sup>。另外,该区草地植被返青在年际间呈现出“提前—推迟—再提前—再推迟”的变化趋势,形成这一现象的原因主要与前一年降水量密切相关<sup>[25]</sup>,通过分析该区 2003—2012 年气候资料,发现该区草地植被返青随年份的变化趋势与降水一致。众所周知,降水量的多少往往会决定表层土壤水分含量的大小,由于高海拔地区地形复杂、降水不均、辐射量大、降水稀少、气候干燥等特点。因此,表层土壤在整个生长期一致处于干旱缺水状态,尽管降水可以缓解这一现状,但无法满足植物正常的生长发育<sup>[22,25,27]</sup>。故该区草地植被对降水的响应极为敏感。赵雪雁等<sup>[28]</sup>分析了青藏高原近 50 年气候变化对牧草生产潜力及物候期的影响,指出温度和降水均与牧草物候期呈显著正相关,而日照时数与其呈显著负相关;何宝忠等<sup>[27]</sup>认为夏季和秋季降水量是影响草地植被生长季的重要因子,气温和日照对其影响较小;韩富贵等<sup>[25]</sup>发现马蔺整个生长季的延长可能受气温和降水的综合作用,其物候期开始之前的月积温对物候始期有着显著影响,而长时间的积温则影响不显著;李强<sup>[29]</sup>通过分析近 12 a 三江源区草地植被物候对水热的响应,指出三江源地区草地植被生长季末期累积降水量的增加会使生长季末期推迟,累积气温的升高可以促进生长季末期的提前。而本研究结果显示,三江源区草地植被返青日期与气候因子的相关性较好,除沱沱河、杂多和玛多地区草地植被返青日期与日照时数相关性不显著外,其余地区与日照时数有密切联系;而平均气温和降水与草地植被返青日期相关性均显著。但各地区相关性差异较大,其中,玛多、达日和久治地区草地植被返青日期与平均气温呈显著负相关关系,其余各地均表现为显著正相关。这一现象说明三江源大部地区的累积气温的升高可以缩短该区草地植被生长季的长度<sup>[29]</sup>,有利于草地植被良好的生长。因为气温的不断升高可以促进植物的酶活性,减缓叶绿素的消退速率,进而推迟草地植被枯黄的时间<sup>[27]</sup>。同理,泽库、沱沱河、曲麻莱、玛多、清水河、玛沁、甘德、河南、久治和班玛地区累积降水量的增加会延长生长季的长度,而兴海、同德、杂多、达日和囊谦地区累积降水量的增加可能会缩短植被生长季的长度,从而不利于土壤碳储量的形成<sup>[28]</sup>。另外,降水的增多可以提高草地植被对土壤有效水分的利用效率,从而加快草地植被返青<sup>[1]</sup>。研究显示,生长季的延长,尤其是草地植被返青期的提前,被认为是北半球中、高纬度碳汇功能增强的主要贡献之一<sup>[28]</sup>。综上所述,青藏高原高寒草地生长季增长可以增强碳汇功能,减少大气中 CO<sub>2</sub> 的累积,降低气候增暖的速率。

### 4 结论

三江源地区植被类型分布多样,自东向西由高寒草甸—温性、高寒草原—高寒湿地—高寒荒漠—戈壁及

裸地依次演变。从植被类型角度可以看出,该区草地植被返青日期也随之呈整体推迟趋势。其中,高寒草甸和温性草原草地植被返青最早,最早与最晚之间相差约 8 d 左右。高寒草原、高寒荒漠和戈壁草地植被返青最晚,最早与最晚日期间相差 40 d 左右。从地理单元来看,不同下垫面草地植被返青日期差异较大。另外,三江源区草地植被返青期与返青期前 30 d 的日照时数、气温和降水间的相关性较好,除局部地区呈显著负相关外,大部地区均表现为显著正相关关系。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 孔冬冬,张强,黄文琳,顾西辉. 1982—2013 年青藏高原植被物候变化及气象因素影响. 地理学报, 2017, 72(1): 39-52.
- [ 2 ] 丁明军,张懿铨,孙晓敏,刘林山,王兆锋. 近 10 年青藏高原高寒草地物候时空变化特征分析. 科学通报, 2012, 57(33): 3185-3194.
- [ 3 ] 李兰晖,刘林山,张懿铨,丁明军,李士成,陈倩. 青藏高原高寒草地物候沿海海拔梯度变化的差异分析. 地理研究, 2017, 36(1): 26-36.
- [ 4 ] 朴世龙,方精云. 1982-1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异. 地理学报, 2003, 58(1): 119-125.
- [ 5 ] 王连喜,陈怀亮,李琪,余卫东. 植物物候与气候研究进展. 生态学报, 2010, 30(2): 447-454.
- [ 6 ] Churkina G, Schimel D, Braswell B H, Xiao X M. Spatial analysis of growing season length control over net ecosystem exchange. *Global Change Biology*, 2005, 11(10): 1777-1787.
- [ 7 ] Piao S L, Friedlingstein P, Ciais P, Viovy N, Demarty J. Growing season extension and its impact on terrestrial carbon cycle in the Northern Hemisphere over the past 2 decades. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, 21(3): GB3018.
- [ 8 ] Jeong S J, Medvigy D, Shevliakova E, Malyshev S. Uncertainties in terrestrial carbon budgets related to spring phenology. *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117(G1): G01030.
- [ 9 ] 曹明奎,李克让. 陆地生态系统与气候相互作用的研究进展. 地球科学进展, 2000, 15(4): 446-452.
- [ 10 ] Linderholm H W. Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 137(1/2): 1-14.
- [ 11 ] 陈效述,王林海. 遥感物候学研究进展. 地理科学进展, 2009, 28(1): 33-40.
- [ 12 ] 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.
- [ 13 ] 徐韵佳,戴君虎,王焕炯,刘亚辰. 1985-2012 年哈尔滨自然历主要物候期变动特征及对气温变化的响应. 地理研究, 2015, 34(9): 1662-1674.
- [ 14 ] Chen X Q, An S, Inouye D W, Schwartz M D. Temperature and snowfall trigger alpine vegetation green-up on the world's roof. *Global Change Biology*, 2015, 21(10): 3635-3646.
- [ 15 ] 徐浩杰,杨太保. 近 13a 来黄河源区高寒草地物候的时空变异性. 干旱区地理, 2013, 36(3): 467-474.
- [ 16 ] Liu X F, Zhu X Q, Zhu W F, Pan Y Z, Zhang C, Zhang D H. Changes in spring phenology in the Three-Rivers Headwater Region from 1999 to 2013. *Remote Sensing*, 2014, 6(9): 9130-9144.
- [ 17 ] 段晓凤,张磊,卫建国,朱永宁,杨洋,金飞. 宁夏盐池牧草返青期预测及生产潜力初步分析. 草业学报, 2014, 23(2): 1-8.
- [ 18 ] 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.
- [ 19 ] Shen M G, Zhang G X, Cong N, Wang S P, Kong W D, Piao S L. Increasing altitudinal gradient of spring vegetation phenology during the last decade on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2014, 189-190: 71-80.
- [ 20 ] 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*, 2013, 58(3): 396-405.
- [ 21 ] 郭佩佩,杨东,王慧,程军奇. 1960-2011 年三江源地区气候变化及其对气候生产力的影响. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2806-2814.
- [ 22 ] 马晓芳,陈思宇,邓婕,冯琦胜,黄晓东. 青藏高原植被物候监测及其对气候变化的响应. 草业学报, 2016, 25(1): 13-21.
- [ 23 ] 邓晨晖,白红英,翟丹平,高山,黄晓月,孟清,贺映娜. 气候变化背景下 1964-2015 年秦岭植物物候变化. 生态学报, 2017, 37(2): 7882-7893.
- [ 24 ] 苗百岭,梁存柱,韩芳,梁茂伟,张自国. 内蒙古主要草原类型植物物候对气候波动的响应. 生态学报, 2016, 36(23): 7689-7701.
- [ 25 ] 韩福贵,徐先英,王理德,王键,张应昌,韩生慧. 民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应. 生态学报, 2013, 33(13): 4156-4164.
- [ 26 ] 李夏子,韩国栋,郭春燕. 气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响. 生态学报, 2013, 33(13): 4146-4155.
- [ 27 ] 何宝忠,丁建丽,李焕,刘博华,陈文倩. 新疆植被物候时空变化特征. 生态学报, 2018, 38(6): 2139-2155.
- [ 28 ] 赵雪雁,万文玉,王伟军. 近 50 年气候变化对青藏高原牧草生产潜力及物候期的影响. 中国生态农业学报, 2016, 24(4): 532-543.
- [ 29 ] 李强. 近 12a 三江源地区植被物候对水热的响应. 干旱区研究, 2016, 33(1): 150-158.