

# 高寒草原针茅枯黄期主要限制因子分析及模型构建

张晓云<sup>1,2</sup>, 孔祥萍<sup>1\*</sup>, 李纳新<sup>3</sup>, 达鹏奎<sup>2,4</sup>, 侯岳<sup>3</sup>, 袁成鑫<sup>5</sup>

(1. 青海省海南州气象局, 青海 共和 813099; 2. 青海省防灾减灾重点实验室, 青海 西宁 810001;  
3. 青海省格尔木市气象局, 青海 格尔木 816000; 4. 青海省玉树州气象局, 青海 玉树 815000;  
5. 青海省气象台, 青海 西宁 810001)

**摘要:**【目的】探明1999—2020年三江源区兴海县高寒草原针茅枯黄期的变化特征及其与气象因子的关系,为兴海县及类似地区牧草资源的合理利用与生态环境保护提供依据。【方法】利用三江源区兴海县气象局观测的1999—2020年高寒草原牧草物候期资料及同期气象资料,对高寒草原牧草枯黄期变化趋势进行分析,利用相关分析法对牧草枯黄期与前期气候因子进行分析,利用回归分析法构建了牧草枯黄期预报模型。【结果】(1)三江源地区兴海县高寒草原西北针茅牧草平均枯黄日期为9月4日,最早与最晚日序差值达22 d。(2)1999—2020年近22年三江源区兴海县牧草枯黄期呈明显的提前趋势。【结论】回归分析表明,牧草枯黄期变化主要受到气温的限制,所构建的枯黄期模型可较好反映针茅牧草枯黄时间早晚与相关热量因子变化的规律。

**关键词:**高寒草原;枯黄期;变化特征;三江源

**中图分类号:**S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)06-0044-07

**DOI:**10.13817/j.cnki.cyycp.2023.06.007



植物物候是指植物适应其生长环境的气候变化而呈现的规律性变化,是对气候变化最直接的指示器,表现为植物的发芽、开花、结果、落叶等物候特征<sup>[1]</sup>。在全球变暖的大背景下,物候常被气候变化研究者作为一种重要的代用指标来指示气候变化。<sup>[2]</sup>植物物候的监测,不仅与人类活动密切相关(如预报农事、指导农牧业生产、土地利用、指示病虫害等),同时它还是陆面过程模型及全球植被模型的重要参数<sup>[3-5]</sup>。在全球气候变暖的背景下植物物候发生了不同程度的改变<sup>[6-7]</sup>,马晓芳等<sup>[8]</sup>分析了青藏高原高寒草地植被物候的时空变化及对气候变化的响应规律,得出青藏高原从东南向西北,植被生长发育呈返青期逐

渐推迟、枯黄期逐渐提前、生长季逐渐缩短的趋势。黄文洁等<sup>[9]</sup>研究报道了青藏高原高寒草地植被物候时空变化特征,认为随着水热条件的差异,青藏高原由东南向西北,返青期逐渐推迟,枯黄期逐渐提前。师桂花<sup>[10]</sup>研究表明,内蒙古高原中部典型草原区天然牧草生育期趋势变化存在着明显地域差异性。白美兰等<sup>[11]</sup>研究表明,在气候变暖的背景下,在典型草原区植物枯黄期呈现明显的提早趋势。

青海省兴海县地处“三江源”地区,全县总面积 $121.86 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,平均海拔4 300 m,属高原大陆性气候,日照充足,辐射强烈,热量条件差,且地区间的气候条件差异较大。全县草原面积为 $101.03 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占划地面积的92.7%。草地类型为高寒草原,天然草地,草本植物以西北针茅(*Stip subsessiliflora*)为主,伴生冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、斜茎黄芪(*Astragalus adsurgens*)、矮蒿草(*Kobresia humilis*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)等植物,植被均匀,覆盖率在60%以上。在近百年来,全球平均气温升高了0.74 °C

收稿日期:2023-02-16;修回日期:2023-04-07

作者简介:张晓云(1972-),男,青海共和县人,高级工程师,主要从事气候变化方面的研究。

E-mail:ggqxfw@163.com

\*通信作者。E-mail:ggqxfwdt@163.com

(1906—2005)<sup>[12]</sup>,近50年来,青藏高原区气温和降水均呈上升趋势(0.53℃/10 a,7.8 mm/10 a),其中高原北部地区增温幅度较大,而中部地区降水增加显著,高原东北部日照时数下降较为明显<sup>[13]</sup>。而兴海地区气候和青海省气候均呈一致变暖的趋势<sup>[14]</sup>,目前对三江源地区的青海省兴海县高寒草原牧草枯黄期与气候变暖关系的研究仍较少<sup>[15]</sup>。牧草关键物候期包括返青、生长、枯黄,而牧草枯黄期的早晚会影响直接到牧草生育期的长短,通过牧草枯黄期监测,能够准确掌握枯黄期天然草原现存生物量、植被盖度、高度、枯黄率等基础数据,对于及时掌握兴海县草原生产力、生态状况,为草畜平衡推进提供重要基础数据。选用1999—2020年三江源区兴海县高寒草原天然牧草枯黄期资料及同时期气温、降水、日照时数等气象观测资料,分析该地区牧草枯黄期的变化规律及其对气候变暖的响应,并建立枯黄期预测模型,为农牧业气象预报和农牧业气候专题分析提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于青海省兴海县子科滩镇高寒针茅草原,地理位置N 35°35',E 99°59',海拔3 300 m。气候具有显著的高原大陆性气候特征,年平均气温1.4℃,年降水量353.2 mm,年日照时数4 431.8 h,昼夜温差大。样地面积为50 m×50 m,牧草生育期内全封闭禁采食,观测地段分为4个小区,交错排列,多年重复观测。牧草枯黄期观测资料和气象观测资料均取自兴海县气象局观测资料,牧草枯黄期观测资料时间为1999—2020年,牧草生长季为4—9月。气象观测资料为同时期的逐日平均气温、降水量、日照时数等要素数据。按照中国气象局《农业气象观测规范》开展牧草物候期观测,观测场面积为100 m×100 m,牧草生育期内实行全封闭禁采食,观测地段分为4个小区,交错排列,多年重复观测。当观测到植物下部叶子开始枯黄时为始期;普遍期是一半以上叶子达到枯黄;枯黄末期则是全部叶子达到枯黄。

### 1.2 研究方法

选取三江源区兴海县高寒草原天然牧草西北针茅1999—2020年的枯黄期进行物候变化特征研究,同时运用同期的气温、降水、日照时数等气象观测资料

分析对牧草枯黄期的影响。牧草枯黄时间采用儒略日<sup>[16]</sup>换算方法,即计算牧草枯黄期日期距当年1月1日的日数(d),构建各生育期的时间序列。统计方法用一次线性回归方程<sup>[17]</sup>来定量描述牧草枯黄期的自回归变化趋势,即以年代为时间因子,计算牧草枯黄日期的线性趋势,线性回归方程的斜率乘以10为该要素的气候倾向率,并用*t*检验对其进行信度检验。其次,用相关分析法<sup>[18]</sup>分析气温、降水、日照时数等气候因子与牧草枯黄期之间的相关性。由于样本量只有22,不足30,因此用计算无偏相关系数加以校正<sup>[17]</sup>。再次,采用标准偏差方法<sup>[19]</sup>对枯黄期的异常年进行分析。利用变异系数<sup>[20]</sup>反映牧草枯黄期的动态稳定程度。变异系数(CV)是原始数据标准差与原始数据平均数的比,是一个相对变异系数。变异系数越大,说明离散程度越大,稳定性越差。最后,应用逐步回归法分析<sup>[21]</sup>牧草枯黄期与前期气候因子之间的关系,构建牧草枯黄期预测模型回归方程。本研究所有数据统计分析运用SPSS13.0完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 牧草枯黄期变化趋势

1999—2020年三江源地区兴海县高寒草原随着年份的延长牧草枯黄期呈提前趋势,西北针茅枯黄期变化趋势为每10年提前4.0 d,枯黄期与年份之间的相关系数达0.451( $P < 0.05$ ),近22 a提前了8.9 d。3 a滑动平均曲线显示牧草枯黄期日序在波动中呈提前趋势。2001—2008年牧草枯黄期呈明显的提前趋势,2009—2016年期间牧草枯黄期在波动中推迟,2017年开始又呈提前趋势(图2)。

牧草平均枯黄期日序为245.9 d(9月4日),最短时间为239.0 d(2018年8月28日),最晚时间为261.0 d(2000年9月19日),最早与最晚时间相差22 d。西北针茅枯黄期时间的标准偏差为±5.8,变异系数为2.4%,枯黄期时间稳定。西北针茅枯黄期在1999—2010年22 a中大于平均时间的年份为9年,占比为40.9%;小于平均时间的年份为13年,占比为59.1%(表1)。

西北针茅牧草枯黄期时间正常值在240~252 d,在22 a里,偏晚的有2 a,分别为1999、2000年,异常偏晚的为2000年。偏早的有2 a,发生在2005和2018年。

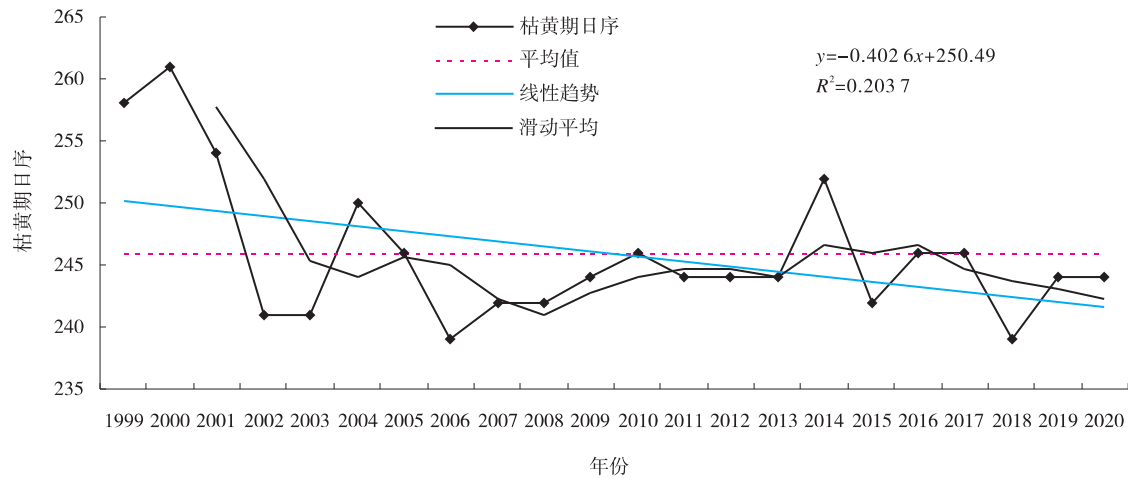


图1 1999-2020年牧草枯黄期变化趋势

Fig. 1 The trend of grass withered and yellow period from 1999 to 2020

表1 西北针茅黄枯期及其变幅(1999—2020年)

Table 1 *Stip subsessiliflora* yellow period and its range from 1999 to 2020

物候期	植被	枯黄日期			变异系数/%	标准差
		平均 (月-日)	最早 (年-月-日)	最晚 (年-月-日)		
枯黄	西北针茅	09-04	2018-08-28	2000-09-19	2.4	5.8

西北针茅牧草枯黄期在2001—2010年,6个年份偏早,4个年份偏晚;2011—2020年偏早的年份为7个,偏晚的年份为3个(表2)。

表2 西北针茅枯黄期各年代出现日期距平

Table 2 The ages anomaly of *Stip subsessiliflora* yellow period

植物	物候期	距平均 时间	时间/d	
			2001—2010	2011—2020
西北针茅	枯黄	早	6	7
		晚	4	3

2.2 牧草枯黄期与前期气候因子的相关性分析

2.2.1 牧草枯黄期与前期气候因子的相关性 将西北针茅牧草枯黄期前几个月的气温、降水量、日照时数按每旬细分为若干个区间,计算牧草枯黄期出现时间与其有效气候区间内逐旬各气象要素的相关关系。牧草枯黄期与其枯黄前的5月上、中、下旬的日照时数,8月下旬的平均气温相关性显著(表3)。其中,5月上旬降水量、8月下旬的平均气温与牧草枯黄期呈显著负相关( $P < 0.05$ );5月中、下旬的降水量与牧草枯黄期负相关( $P < 0.05$ )。即5月上、中、下旬的日照时数越多,8月下旬的平均气温越高,牧草枯黄期越早。枯黄期的早晚主要受制于当年的气候条件,如在当年

光热水匹配较好,牧草枯黄期相应推迟,牧草的营养成分也较高。反之,若当年光热水匹配较差时,有可能造成草地干旱,牧草提前停止生长,牧草枯黄期则相应提前,因此,牧草枯黄期的早晚在草地畜牧业生产中极其重要。

3.2.2 牧草枯黄期与前期气候因子的多元逐步回归分析 天然牧草的整个生命过程都是在环境中进行的<sup>[3]</sup>,植物物候的展叶、开花、落叶等与气候环境因素息息相关<sup>[22]</sup>。天然牧草物候期的形成与早晚,很大程度上受制于区域气候、土壤和牧草本身机能等因素,人为干扰较轻。对固定区域来讲,一定时间内其土壤性质、牧草种类组织等变化相对平稳,表现出牧草物候与气候因素密切相关<sup>[9]</sup>。表3只反映了气象单因子与牧草枯黄期之间的关系密切程度,却很难判断出气候变化对天然牧草枯黄期的影响关系。因此,本研究以西北针茅牧草枯黄日期作为因变量,将牧草枯黄前各旬气温、降水、日照时数等气候因子作为自变量,进行多元逐步回归分析,建立西北针茅牧草枯黄期与气温、降水、日照因子的关系模型,通过各因子与天然牧草枯黄期偏回归分析过程,讨论各气候因子对天然牧草枯黄期的综合影响关系,以此揭示影响牧草枯黄期的主导气象因子。即

表 3 牧草枯黄期与前期气候因子的相关性

Table 3 The correlation between grass yellow period and early climate factors

气象要素			相关系数			气象要素			相关系数		
T <sub>1上</sub>	R <sub>1上</sub>	S <sub>1上</sub>	0.063	-0.176	-0.085	T <sub>5上</sub>	R <sub>5上</sub>	S <sub>5上</sub>	-0.095	-0.527***	0.175
T <sub>1中</sub>	R <sub>1中</sub>	S <sub>1中</sub>	-0.199	-0.160	0.076	T <sub>5中</sub>	R <sub>5中</sub>	S <sub>5中</sub>	0.091	-0.419*	-0.012
T <sub>1下</sub>	R <sub>1下</sub>	S <sub>1下</sub>	0.041	-0.185	0.123	T <sub>5下</sub>	R <sub>5下</sub>	S <sub>5下</sub>	0.010	-0.396*	-0.265
T <sub>2上</sub>	R <sub>2上</sub>	S <sub>2上</sub>	-0.039	-0.159	0.076	T <sub>6上</sub>	R <sub>6上</sub>	S <sub>6上</sub>	0.204	-0.103	-0.328
T <sub>2中</sub>	R <sub>2中</sub>	S <sub>2中</sub>	0.099	-0.260	-0.061	T <sub>6中</sub>	R <sub>6中</sub>	S <sub>6中</sub>	0.141	-0.228	0.214
T <sub>2下</sub>	R <sub>2下</sub>	S <sub>2下</sub>	-0.359	0.356	-0.009	T <sub>6下</sub>	R <sub>6下</sub>	S <sub>6下</sub>	-0.158	0.119	-0.211
T <sub>3上</sub>	R <sub>3上</sub>	S <sub>3上</sub>	-0.223	0.018	0.020	T <sub>7上</sub>	R <sub>7上</sub>	S <sub>7上</sub>	0.019	-0.252	0.209
T <sub>3中</sub>	R <sub>3中</sub>	S <sub>3中</sub>	0.009	-0.164	-0.026	T <sub>7中</sub>	R <sub>7中</sub>	S <sub>7中</sub>	0.150	-0.004	0.307
T <sub>3下</sub>	R <sub>3下</sub>	S <sub>3下</sub>	-0.182	-0.202	-0.200	T <sub>7下</sub>	R <sub>7下</sub>	S <sub>7下</sub>	0.316	-0.122	0.091
T <sub>4上</sub>	R <sub>4上</sub>	S <sub>4上</sub>	-0.196	-0.043	-0.202	T <sub>8上</sub>	R <sub>8上</sub>	S <sub>8上</sub>	-0.144	-0.199	-0.188
T <sub>4中</sub>	R <sub>4中</sub>	S <sub>4中</sub>	-0.186	0.054	-0.112	T <sub>8中</sub>	R <sub>8中</sub>	S <sub>8中</sub>	-0.079	-0.128	-0.039
T <sub>4下</sub>	R <sub>4下</sub>	S <sub>4下</sub>	0.009	-0.251	-0.212	T <sub>8下</sub>	R <sub>8下</sub>	S <sub>8下</sub>	-0.555***	-0.355	0.042

注: \*、\*\*、\*\*\*表明通过 0.10、0.05、0.01 度水平检验。

$$y_4 = 270.70 - 2.942T_{5中} - 1.835T_{7中} \quad (1)$$

方程 (1) 的  $R = 0.555$ ,  $F = 8.882 > F(1, 20)_{0.05} = 4.35$ ,  $P = 0.007$ , 线性回归模型成立。

方程(1)中:  $y_5$  为牧草枯黄期,  $T_{8下}$  气象因子, 为 8 月下旬平均气温。可见, 影响牧草枯黄期的气候因子较为单一, 牧草枯黄期主要与其前期的 8 月下旬平均气温有关。8 月下旬平均气温每升高(或降低)1.0℃, 牧草枯黄期则相应提前(或延迟)2.3 天。

从牧草枯黄期预报的回归方差分析(表 4)中可得: 回归平方和为 216.67, 自由度为 1, 均方为 216.67。残差平方和为 487.92, 自由度为 20, 均方 24.40。F 检验值为 8.882, 显著性概率为 0.007。自变量(8 月下旬平均气温)对因变量(牧草枯黄期)有显著的解释能力, 回归方程有效。

通过回归系数的分析(表 5)可以看出: 8 月下旬平

表 4 牧草枯黄期预报的回归方差分析

Table 4 The regression analysis of the grass yellow period forecast

模型	平方和	自由度	均方	F	P
回归	216.67	1	216.67		
残差	487.92	20	24.40	8.882	0.007
总和	704.59	21			

均气温的非标准化系数为 -2.332, 标准误差为 0.782, 标准化系数为 -0.555。常数项的非标准化系数为 272.03, 标准误差 8.843。常数项、8 月下旬平均气温的显著性概率均小于 5%, 与回归方差分析结果一致, 因此认为回归系数有意义。模型入选的因子看, 8 月下旬平均气温越高, 牧草枯黄期越提前, 反之则枯黄期越晚。

表 5 牧草枯黄期的回归系数

Table 5 The regression coefficient of grass yellow period

Model	Non-standardized Regression		Standardized regression coefficient	t	P
	B	S. E.			
常数项	272.03	8.843		30.763	0.000
8 月下旬平均气温	-2.332	0.782	-0.555	-2.980	0.003

西北针茅牧草枯黄期预报模型的检验, 利用所建立的预报方程, 用 1999—2020 年气象数据对当年牧草枯黄期进行拟合(表 6), 牧草枯黄期最小值为

238.92 d, 最大值为 253.14 d, 两都相差 14.22 d, 均值为 245.86 d, 标准偏差为 3.21, 牧草枯黄期预测值在 6.9~7.3 d。虽然牧草的枯黄期年际变化较大, 但牧

草枯黄期95%以上的变动都可以被该模型所解释,拟和度较高。结果表明,西北针茅牧草枯黄期预测值误

差在7.0 d左右,回代检验效果总体较好,但预测精度不够高。

表6 1999—2020年牧草枯黄期与拟合值

Table 6 The grass yellow period and its fitting value from 1999 to 2020

项目	最小值	最大值	均值	标准偏差	样本
预测值	238.92	253.14	245.86	3.21	22
残差	-7.38	14.15		4.82	22
标准预测值	-2.16	2.27		1.000	22
标准残差	-1.50	2.87		0.976	22

### 3 讨论

外界环境因子对植物物候的变化有着直接影响,其中一定时期内的温度、降水量和光照等气象要素的变化与植物物候密切相关。植物物候的变化,如返青、抽穗、开花、成熟和枯黄的提前或延后,客观反映了气候变化对植物物候的影响程度。大量研究表明<sup>[23-27]</sup>,影响植物物候变化的关键因子是温度,植物物候期与温度相关程度更高。青藏高原地区气温的上升速率远大于降水速率,使气温成为青藏高原物候期变化的主导因素<sup>[8]</sup>。植物叶片从开始生长到衰老需要一定的积温,相关时段温度较高,才能达到枯黄所需的热量条件<sup>[28-29]</sup>。回归方程显示,8月下旬平均气温越低,牧草枯黄期相应延迟;8月下旬平均气温越高,牧草枯黄期相应提前。温度升高,一方面使植物冠层蒸腾和上面蒸发加剧,导致植物因水分亏缺而黄枯期提前;另一方面植物叶片从开始生长到衰老需要一定的积温,前期气温的升高使得植物叶片所需的积温用较短的时间即可满足,从而导致黄枯期的提前。但有研究<sup>[30]</sup>也认为对晚期物候(果后营养期、初黄期和枯黄期)而言,增温引起青藏高原的高寒草地植物果后营养期、初黄期和枯黄期显著延迟,这与本结论不一致。相关研究<sup>[31]</sup>认为,牧草的成熟期和黄枯期早晚受到当年气候条件的影响,光水热同期匹配较好,则当年牧草物候期(如成熟期、黄枯期)相应延迟,再生性强的牧草还可继续生长,有利于草原牲畜的放牧抓膘。植物物候是生物因素和环境因素的综合反映<sup>[32]</sup>,本研究基于气象因子对牧候变化的影响进行了探讨,未能从土壤、植物自身特性等多方面进行深入研究,后续工作中将进一步积累相关资料,开展综合

因子影响研究。

### 4 结论

(1)三江源地区兴海县高寒草原西北针茅平均枯黄日期在9月4日,最早与最晚日序差值22 d,枯黄期的变异系数为2.4%,年际变化表现为较稳定。

(2)1999—2020年三江源区兴海高寒草原西北针茅枯黄期以每10年4.0 d的速率呈显著的提前趋势,在近22 a里,1999和2000年为偏晚年份,其中2000年为异常偏晚年份。2005和2018年为偏早年份。

(3)西北针茅枯黄期与前期的5月上旬降水量、8月下旬的平均气温呈显著负相关( $P < 0.05$ )。

(4)回归分析表明,牧草枯黄期主要与前期8月下旬的平均气温有关。

#### 参考文献:

- [1] 丁明军,张德铨,孙晓敏,等.近10年青藏高原高寒草地物候时空变化特征分析[J].科学通报,2012,57(33):3185-3194.
- [2] 郑景云,葛全胜,郝志新.近40年中国植物物候对气候变化的响应研究[J].中国农业气象,2003,24(1):28-32.
- [3] 马晓芳,陈思宇,邓捷,等.青藏高原植被物候监测及其对气候变化的响应[J].草业学报,2016,25(1):13-21.
- [4] 武永峰,李茂松,宋吉青.植物物候遥感监测研究进展[J].气象与环境学报,2008,24(3):52-58.
- [5] 王连喜,陈怀亮,李琪,等.植物物候与气候研究进展[J].生态学报,2010,30(2):447-454.
- [6] 萨茹拉,丁勇,侯向阳.北方草原区气候变化影响与适应[J].中国草地学报,2018,40(2):109-115.
- [7] 杨丽慧,吴滨,马佳嘉.福建省植物物候期对气候变化的响应[J].中国农学通报,2016,32(35):139-150.
- [8] 李红梅,王玉寿,王彦龙.气候变暖对青海高原地区植物

- 物候期的影响[J]. 应用气象学报, 2010, 21(4): 500—505.
- [9] 黄文洁, 曾桐瑶, 黄晓东. 青藏高原高寒草地植被物候时空变化特征[J]. 草业科学, 2019, 36(4): 1032—1043.
- [10] 师桂花. 内蒙古典型草原主要牧草生育期变化特征[J]. 中国草地学报, 2019, 41(2): 80—88.
- [11] 段晓凤, 张磊, 卫建国, 等. 宁夏盐池牧草返青期预测及生产潜力初步分析[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 1—8.
- [12] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942—956.
- [13] 赵雪雁, 王伟军, 万文玉, 等. 近50年气候变化对青藏高原青稞气候生产潜力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(10): 1329—1338.
- [14] 郭连云, 丁生祥, 吴让, 等. 气候变化对三江源区兴海县天然牧草的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(6): 90—95.
- [15] 郭连云, 赵年武, 谢卫东. 三江源高寒草地针茅牧草黄枯期与气象条件的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 253—257.
- [16] 竺可桢, 宛敏渭. 物候学(增订版)[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 18—24.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 37—59.
- [18] 冯定原. 农业气象预报和情报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 101—120.
- [19] 安维默. 用Excel管理和分析数据[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [20] 郑景云, 葛全胜, 赵会霞. 近40年中国植物物候对气候变化的响应研究[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 28—32.
- [21] 贾俊平, 何晓群, 金勇进. 统计学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 203—210.
- [22] 周威, 陈科, 黄萍. 极端气温变化对湘西北物候的影响[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(11): 55—61.
- [23] 陈效述, 张福春. 近50年北京春季物候的变化及其对气候变化的响应研究[J]. 中国农业气象, 2001, 22(1): 1—5.
- [24] 李燕, 王志伟, 张建玲. 气候变暖对山西南部典型植物物候的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 178—184.
- [25] 杨丽桃, 侯琼. 内蒙古东部地区小叶杨物候变化与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(6): 39—44.
- [26] 陈效述. 论树木物候生长季节与气温生长季节的关系—以德国中国 Taunus 山区为例[J]. 气象学报, 2000, 58(6): 726—737.
- [27] 张福春. 气候变化对中国木本植物物候的可能影响[J]. 地理学报, 1995, 50(5): 402—409.
- [28] 李夏子, 郭春燕, 韩国栋. 气候变化对内蒙古荒漠化草原优势植物物候的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(1): 50—57.
- [29] 陈效述, 李惊. 内蒙古草原羊草物候与气象因子的关系[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5280—5290.
- [30] 徐振锋, 胡庭兴, 李小艳, 等. 川西亚高山采伐迹地草坡群落对模拟增温的短期响应[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2899—2905.
- [31] 魏玉蓉, 潘学标, 敖其尔, 等. 草地牧草物候发育模型的应用研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 117—121.
- [32] 俎佳星, 杨健. 东北地区植被物候时序变化[J]. 生态学报, 2016, 36(7): 2015—2023.

## Analysis and construction of a forecast model for the main limiting factors of the withering phenology of *Stipa* Grass on the alpine grassland

ZHANG Xiao-yun<sup>1,2</sup>, KONG Xiang-ping<sup>1\*</sup>, LI Naxin<sup>3</sup>, DA Peng-kui<sup>2,4</sup>, Hou Yue<sup>3</sup>,  
YUAN Cheng-xin<sup>5</sup>

(1. Meteorological Bureau in Hainan State of Qinghai Province, Gonghe 813099, China; 2. Key Laboratory of disaster prevention and reduction of Qinghai Province, Xining 810001, China; 3. Meteorological Bureau in Geermu City of Qinghai Province, Geermu 816000, China; 4. Meteorological Bureau in Yushu State of Qinghai Province, Yushu 815000, China; 5. Meteorological Observatory of Qinghai Province, Xining 810001, China)

**Abstract:** **【Objective】** To demonstrate the variation characteristics of natural grass yellowing period in alpine grasslands and its relationship with meteorological factors in Xinghai County, Three-river source area from 1999 to 2020. The aim was to provide a basis for the rational utilization and ecological environment protection of forage resources in Xinghai County and similar areas. **【Metod】** Utilizing phenological period data of herbage in alpine grasslands and contemporaneous meteorological data observed by Xinghai County Meteorological Bureau in the Sanjiangyuan region from 1999 to 2020, this paper analyzed the change trend of the yellowing period of alpine grasslands. Correlation analysis was employed to examine the relationship between the yellow period of herbage and climatic factors during the early period. Additionally a forecast model of the yellowing period was constructed using the regression analysis method. **【Result】** (1) the average yellowing date of northwest stipa grass was September 4, with a difference of 22 days between the earliest and the latest diurnal order. (2) From 1999 to 2020, the yellowing period of herbage in Xinghai county had notably advanced in the recent 22 years. (3) Regression analysis indicated that the yellowing stage of herbage was primarily limited by temperature. **【Conclusion】** The prediction model of the yellow period could reflect the rule of the yellowing time and its association with heat factors of Stipa grass.

**Key words:** alpine grassland; withered and yellow phase; variation characteristics; Three-river source area