

DOI: 10.5846/stxb201902260356

肖芳, 桑婧, 王海梅. 气候变化对内蒙古鄂温克旗典型草原植物物候的影响. 生态学报, 2020, 40(8): - .

Xiao Fang, Sang Jing, Wang H M. Effects of climate change on typical grassland plant phenology in Ewenki, Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(8): - .

气候变化对内蒙古鄂温克旗典型草原植物物候的影响

肖 芳, 桑 婧, 王海梅*

内蒙古自治区生态与农业气象中心, 呼和浩特 010051

摘要: 植物物候作为气候变化敏感的指示指标, 已成为全球气候变化研究的焦点。利用内蒙古典型草原区鄂温克旗气象试验站 1959—2017 年的气候资料和 1983—2017 年的植物物候观测资料, 采用趋势倾向率和逐步回归等方法, 分析了鄂温克旗气候变化特征, 代表性牧草大针茅和羊草返青期、开花期、黄枯期及生长季的变化趋势, 并通过偏相关分析探讨了气温、降水和日照时数与牧草生育期的关系, 建立了主要牧草物候期的气候模型。结果表明: (1) 鄂温克旗近 60 年平均气温呈极显著波动增加趋势, 年降水量和年日照时数的变化很小; (2) 30 多年来, 鄂温克旗大针茅和羊草返青期总体呈推迟趋势, 倾向率分别为 2.2 d/10a 和 1.4 d/10a; 开花期的变化趋势不明显; 黄枯期分别以 2.8 d/10a 和 1.5 d/10a 的趋势提前; 生长季长度呈明显缩短趋势; (3) 3 月和 4 月气温是影响研究区牧草返青最主要的气候因子, 气温升高返青期提前; 前 2 个月降水量对大针茅开花期的影响较大; 气温升高使得黄枯期提前, 而降水量增加则使得黄枯期推迟。

关键词: 典型草原; 禾本科牧草; 气候变化; 物候

Effects of climate change on typical grassland plant phenology in Ewenki, Inner Mongolia

XIAO Fang, SANG Jing, WANG Haimei*

Ecological and Agricultural Meteorological Center, Inner Mongolia Meteorological Bureau, Huhhot 010051, China

Abstract: Plant phenology has become the focus of global climate change research as a sensitive indicator. Based on climate data from 1959 to 2017 and phenological observation data from 1983 to 2017 in meteorological experiment station of Ewenki, which is located in typical grassland area, the climate change characteristic and change trend of reviving, blossoming, withering, and growing season of *Stipa grandis* and *Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel. were analyzed. The results showed that: (1) In the past 60 years, the average temperature in Ewenki has shown a very significant fluctuation and increasing trend, and the change of annual precipitation and annual sunshine hours is very small. (2) The reviving dates for *Stipa grandis* and *Leymus chinensis* (Trin.) showed a delay trend with the trend rate of 2.2d/10a and 1.4d/a, respectively. The blossoming stage was not change obviously. The withering dates advanced in 2.8d/10a and 1.5d/10a, respectively. The growing season presented tendency of shortening. (3) The temperature in March and April was the most important climate factor which affected the turning green in this study area, the rising temperature accelerated the turning green. The precipitation of two months before had great influence on blossoming dates. The rising temperature led to the advance of withering, while the increasing precipitation delayed withering dates.

Key Words: typical grassland; gramineae grasses; climate change; phenology

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560155); 内蒙古自然科学基金项目(2017MS0376)共同资助。

收稿日期: 2019-02-26; 网络出版日期: 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanghmuhe@126.com

植物物候是指植物受生物因子(遗传等)和非生物因子(气候等)的影响,其营养生长和繁殖生长表现出的以年为周期的季节性变化,如植物的发芽、展叶、开花、落叶等^[1]。随着全球气候变暖,气候变化研究成为了全球关注的一个重要问题,而植物物候现象不仅是季节变化的反映,也是生态系统对全球气候变化的响应,是反映气候与环境变化的重要指标^[2,3],因此,植物物候研究也是植被-气候关系研究的重要环节。植物物候的改变能够指示环境变化对植物生理活动的影响^[4]。气温、降水、光照等气象要素的变化会显著影响植物的物候期,其中,温度被认为是影响植物物候的重要气候因子^[5,6]。春季物候期和开花期提前、秋季物候期推迟、植物生长季延长已成为一种全球的变化趋势,且越早开花的植物春季物候期对温度升高的响应越强烈^[7]。

鄂温克族自治旗(以下简称鄂温克旗)位于呼伦贝尔市西南部,大兴安岭西侧,属于中温带半干旱气候区^[8]。呼伦贝尔地域广阔,地形复杂,受下垫面状况影响,气候变化具有明显的空间地理属性差异,是全球气候变化的敏感区域^[9,10]。鄂温克旗是呼伦贝尔草原的重要组成部分,是我国北方主要的防风固沙生态区,也是全国重要的草原畜牧业生产基地,是迄今为止保护最为完好的温性草地资源^[11]。近年来,随着全球气候的变化,鄂温克旗牧草发育期也发生了显著的改变。然而,有关气候变化对鄂温克旗主要牧草物候影响的研究鲜有报道。为此,本研究基于鄂温克旗历年气象和牧草观测资料,探讨牧草生育期对气候变化的响应及其与水分因子的对应关系,为该区域牧草发育生物学的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在内蒙古呼伦贝尔市鄂温克旗牧业气象试验站(119°45′02″E, 49°9′06″N)。试验站附近草地类型主要为典型草原,属于温带半干旱大陆性季风气候,年均气温-1.5℃,无霜期 113 d,年均降水量 325.6 mm,年均蒸发量 1497 mm,牧草产量在 1400 kg/hm²左右,且牧草具有良好的品质特点^[12,13]。植被类型主要以禾本科的大针茅(*Stipa baicalensis*)和羊草(*Leymus chinensis*)等优势种为主,此外还有冰草(*Agropyron cristatum* L.),早熟禾(*Poa annua*)、日阴营(*Carex pediformis*)等伴生种。

1.2 研究方法

1.2.1 观测资料的收集

本研究中 4—9 月牧草观测资料和同期气象资料分别来源于鄂温克旗牧业气象试验站和内蒙古自治区气象局;其中牧草观测资料包括主要牧草的生育期,气象数据包括气温、降水、日照时数等。该牧业气象试验站地处典型草原,确定该地区的优势种大针茅和羊草为其代表性牧草,可代表当地牧草的总体生长状况。

由于鄂温克旗牧业气象试验站在观测期内发生了迁站,由原呼盟盟根楚鲁畜牧气象试验站(119°29′E, 48°48′N)(1983—1984 年)观测点迁至当前观测站址(119°45′02″E, 49°9′06″N)。观测地点改变使观测序列的完整性与代表性受到破坏。因此,本研究数据均取迁站后新址所测时间序列资料。

1.2.2 牧草生育期观测方法

依据中国气象局农业气象观测规范规定,区域草场面积一般不小于 10 km×10 km,选择草场地内的植物种类能代表当地的草原类型,不受人为干扰,且受小气候的影响较小。观测场地面积大小为 50 m×50 m,生育期内全封闭禁采食,作为固定观测场多年重复观测^[14]。

牧草发育期观测在牧草观测场内进行。牧草返青期、开花期和黄枯期分别以牧草返青、开花和黄枯牧草数占植被总数 50% 为准,各主要发育期观测指标如下^[15]:

返青期:春季目测牧草观测场内 50% 的牧草由黄转青,且牧草地上部分的高度约 1 cm;

开花期:目测牧草观测场内 50% 的牧草开花;

黄枯期:秋季目测牧草观测场内 50% 的牧草地上部分约有 2/3 枯萎变色。

1.2.3 线性倾向率及其检验

利用一次线性方程来定量描述牧草生育期的多年变化特征:

$$Y=a+bx \quad (1)$$

式中,趋势变率方程为 $dy/dx=b$, b 为倾向率,其值的大小反映线性变化速率的程度,值的符号反映趋势变化的方向,符号为正(负)表示随时间的增加,牧草生育期推迟(提前)。其线性显著程度,采用相关系数法进行检验^[16]。

2 结果与分析

2.1 气候条件年际变化规律

光、温、水是影响天然牧草生长发育的重要气象要素,本文分析了鄂温克旗过去 59 年(1959—2017 年)的年平均气温、年降水量、年日照时数的变化情况。

由图 1 的分析可知,在过去的 59 年,鄂温克旗年平均气温呈极显著波动增加趋势,气温倾向率为 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,是全国年平均气温倾向率($0.04^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)^[17]的 10 倍。1959—2017 年间鄂温克旗年平均气温为 -1.38°C ,年平均最低气温为 -3.9°C (1969 年),最高为 1.2°C (2007 年)。通过 3a 滑动平均气温的变化趋势可知,1959—2017 年间,鄂温克旗气温呈现“下降—上升—下降—上升”的阶段波动变化趋势;1959—1969 年呈下降趋势,平均气温为 -2.32°C ;1970—2007 年呈上升趋势,平均气温为 -1.26°C ;2008—2012 年呈下降趋势,平均气温为 -1.28°C ;而 2013—2017 年又呈上升趋势,平均气温为 -0.11°C ;大针茅和羊草物候期监测阶段(1983—2017 年)平均气温为 -0.81°C ,升温最为明显。1959—1982 年的 24 年,只有 5 年的平均气温高于多年平均值,而 1983—2017 年的 35 年则有 17 年的平均气温高于多年平均值。

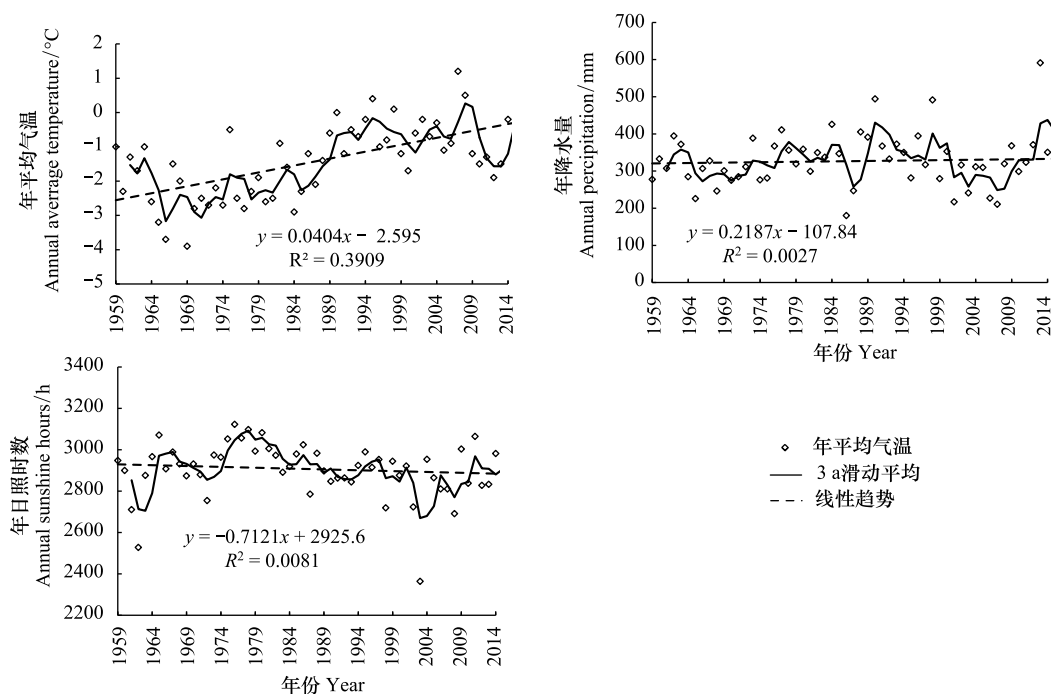


图 1 1959—2017 年鄂温克旗年平均气温、年降水量、年日照时数的变化趋势

Fig.1 Changes of annual average temperature, precipitation, and sunshine hours in Ewenki during 1959—2017

1959—2017 年间,鄂温克旗年均降水量呈微弱增加趋势,降水量变化曲线线性拟合倾向率为 $2.19\text{ mm}/10\text{ a}$ (图 1)。年最大降水量为 591.2 mm (2013 年),最小值为 210.5 mm (2007 年)。在牧草物候监测期(1983—2017 年)的 35 年内,降水量以 $1.07\text{ mm}/10\text{ a}$ 的趋势微弱减少,其中只有 2016 年年降水量高于多年平均值,其余年份全部低于多年平均值。从年降水量 3a 滑动平均来看,降水量变化规律不明显,存在一定阶段性。

1959—2017 年间,鄂温克旗年日照时数呈微弱减少趋势,平均每 10 a 减少 7.12 h (图 1)。1959—2017 年

间,鄂温克旗的年日照时数为 2903.7 h,年最大日照时数为 3101.4 h(2017 年),最小值为 2363.9 h(2003 年)。牧草物候期监测阶段(1983—2017 年)年日照时数微弱减少。

综上所述,鄂温克旗典型草原地区气候总体呈现“气温显著上升、降水量微弱增加、日照时数微弱减少”的特点,气候有“暖干化”趋势,气候的显著变化引起牧草物候期随之发生相应的变化。

2.2 牧草物候期特征

2.2.1 返青期

基于鄂温克旗 1983—2017 年主要牧草返青期资料,分析了大针茅和羊草返青期的变化情况,根据 3 a 滑动平均与线性趋势建立线性拟合方程。从图 2 分析可以看出,1983 年以来,大针茅和羊草的返青期均出现推迟现象,线性趋势分析表明,大针茅返青期以每 10 年 2.2 天的速度明显推迟,羊草返青期以每 10 年 1.4 天的速度推迟。由表 1 可见,大针茅和羊草的平均返青日期分别为 5 月 3 日(123 d)和 5 月 1 日(121 d),大针茅和羊草返青发生日平均温度分别为 8.2℃、7.5℃,二者的变幅仅相差 1 天,标准偏差值一样。

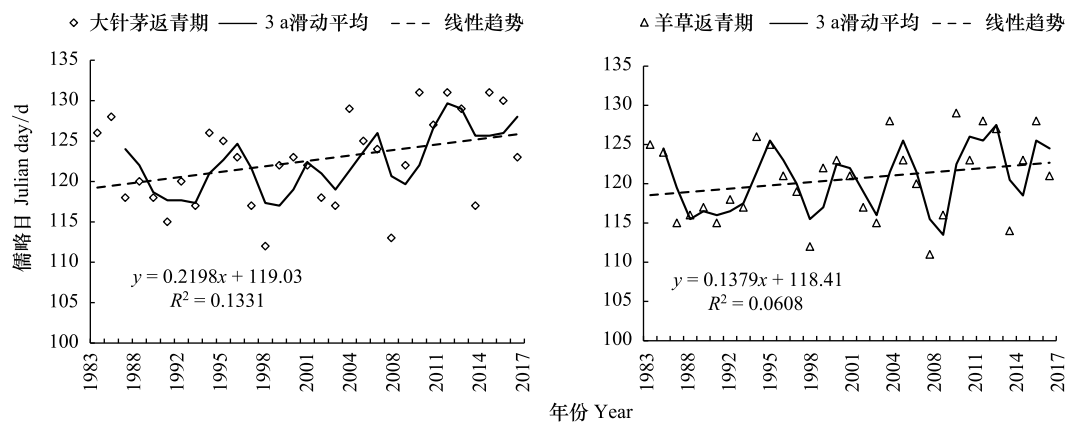


图 2 1983—2017 年鄂温克旗大针茅和羊草返青期的变化

Fig.2 Changes of onset dates of capillata and chinensis in Ewenki during 1983—2017

表 1 1983—2017 年鄂温克旗大针茅和羊草物候期平均日期、相应日均温、物候极端值日期及变幅

Table 1 Phenological time series: average event dates, daily temperature, extreme phenophases, and variable amplitude of capillata and chinensis in Ewenki during 1983—2017

物候期 Phenophase	牧草 Grass	平均日期/d (Julian day) Average date	温度/℃ Temperature	最早日期/d Earliest date	最晚日期/d Latest date	变幅/d Extent	标准偏差 Standard deviation
返青 Reviving	大针茅	5.3(123)	8.2	1998.4.23(112)	2010.5.12(131)	19	5.5
	羊草	5.1(121)	7.5	2008.4.21(111)	2010.5.10(129)	18	5.5
开花 Blooming	大针茅	8.13(223)	18.5	2014.7.24(204)	1994.9.10(252)	48	12.2
	羊草	7.2(183)	20.0	2014.6.16(166)	2009.8.8(219)	53	11.6
黄枯 Withering	大针茅	9.24(266)	7.7	1988.9.18(261)	1991.10.6(278)	17	5.7
	羊草	9.25(268)	11.3	1999.9.10(252)	1991.10.6(278)	26	5.9

2.2.2 开花期

从图 3 大针茅和羊草开花期变化可以看出,大针茅开花期的变化趋势不显著,以 0.3 d/10a 的速度微弱提前;而羊草开花期则呈现推迟现象,以每 10 年 5.1 天的速度增加,但是推迟的趋势不显著。从牧草花序形成开始,对温度要求增加,大针茅和羊草的平均开花期为 8 月 13 日(223 d)和 7 月 2 日(183 d),开花发生日平均温度分别为 18.5℃和 20.0℃(表 1)。研究也表明,所有物候期中变异性最大的是开花期,大针茅和羊草的平均变异系数分别为 12.2 和 11.6;而且变异幅度最大的也是开花期(大针茅和羊草分别为 48 d 和 53 d)。

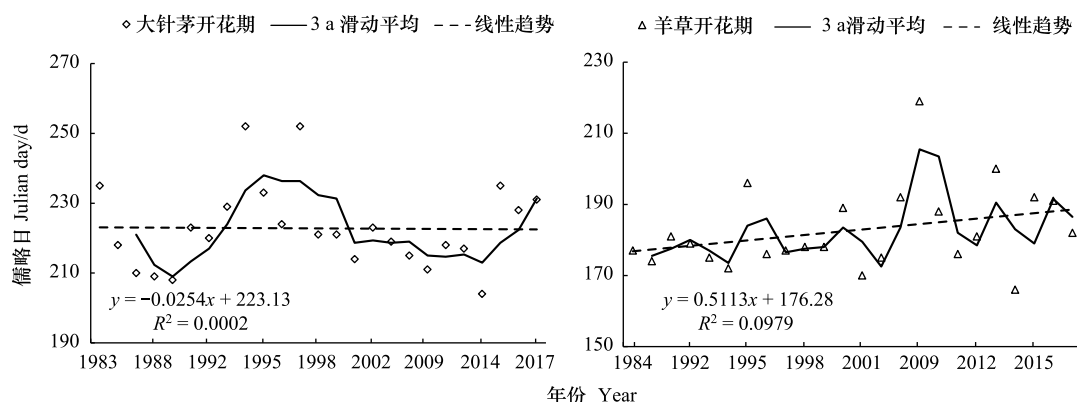


图3 1983—2017年鄂温克旗大针茅和羊草开花期的变化

Fig.3 Changes of blooming dates of capillata and chinensis in Ewenki during 1983—2017

2.2.3 黄枯期

大针茅和羊草的黄枯期均出现不同程度的提前趋势(图4),线性趋势分析表明,大针茅黄枯期以2.8 d/10 a的趋势显著提前,而羊草黄枯期则以1.4 d/10 a的趋势提前(图4)。大针茅黄枯的平均日期为9月24日(266 d),发生日平均温度为7.7℃,平均变异系数为5.7(表1);而羊草黄枯的平均日期为9月25日(268 d),发生日平均温度11.3℃以上。大针茅和羊草黄枯期的变异幅度相差9 d,标准偏差仅相差0.2,二者的变幅相对较为稳定,变异幅度波动相对较小。

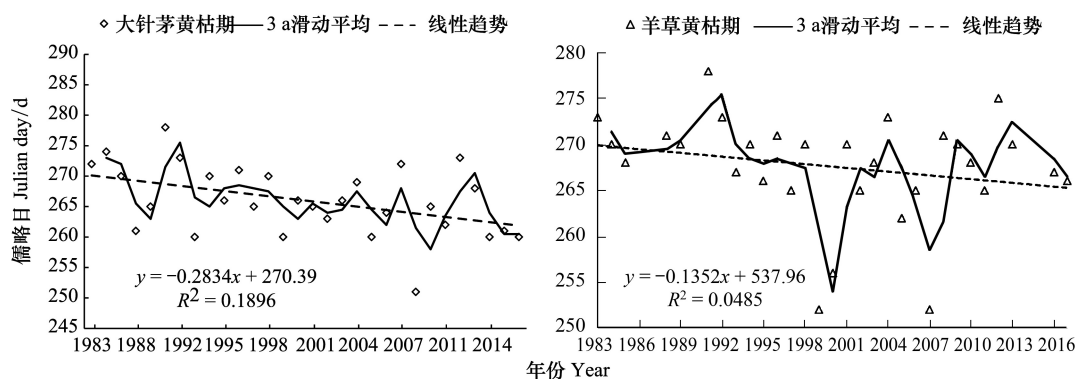


图4 1983—2017年鄂温克旗大针茅和羊草黄枯期的变化

Fig.4 Changes of withering dates of capillata and chinensis in Ewenki during 1983—2017

2.2.4 生长季

由图5的分析可见,1983年以来,鄂温克旗大针茅和羊草生长季长度均出现不同程度的缩短趋势,分别以4.6 d/10a和3.4 d/10a的速度明显缩短,其中羊草生长季的变化幅度明显大于大针茅。

2.3 气候变化对物候期的影响

利用地面观测气象数据,采用线性相关方法,对大针茅和羊草主要生育期与气象单因子及多因子综合关系进行分析。在前人研究基础上^[5,15,18],本文考虑3个月的滞后效应,分别计算不同生育期与当月及超前3月气温、降水及日照时数的相关系数。

2.3.1 牧草物候期与气候因子的相关性分析

通过大针茅和羊草返青期、开花期、黄枯期与当前及超前3个月平均气温、降水量和日照时数的相关分析(表2)可以看出,大针茅返青期只与气温存在直接联系,其中与返青期前2个月(3月份)和1个月(4月份)

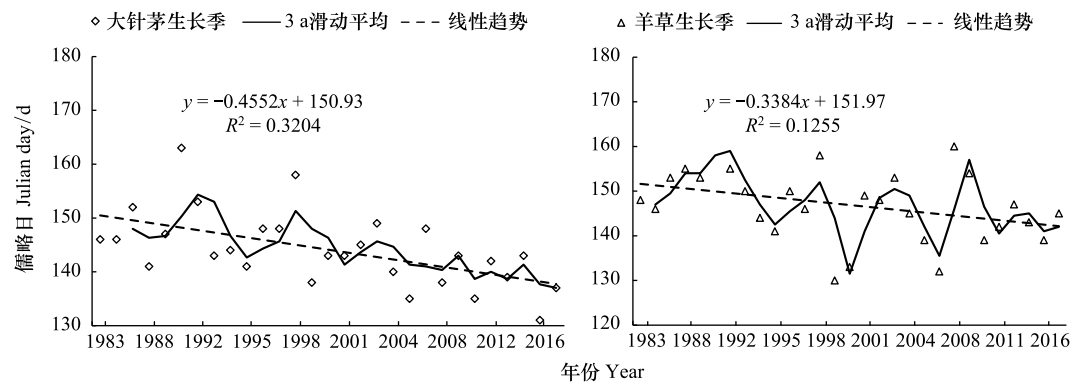


图5 1983—2017 年鄂温克旗大针茅和羊草生长季的变化

Fig.5 Changes of growing season of capillata and chinensis in Ewenki during 1983—2017

的平均气温极显著负相关($P < 0.01$);大针茅开花期和黄枯期分别与前 2 个月和前 1 个月降水量极显著负相关($P < 0.01$)和显著正相关($P < 0.05$)。对于羊草而言,返青期与前 1 个和 2 个月的平均气温分别呈极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)负相关,与前 1 个月的降水量显著正相关($P < 0.05$);而开花期与平均气温、降水量和日照时数均无直接联系;黄枯期与前 2 个月的平均气温、当月的平均气温、当月的日照时数呈显著负相关($P < 0.05$)。

表 2 大针茅和羊草物候期与同期及超前 3 个月气温、降水和日照时数的相关性分析

Table 2 Correlation between phenological and synchronal and leading three month air temperature, precipitation and sunshine hours in capillata and chinensis

物候期 Phenophase	牧草 Grass	生育期平 均日期 Mean onset dates	T ₃	T ₂	T ₁	T	P ₃	P ₂	P ₁	P	S ₃	S ₂	S ₁	S
返青 Reviving	大针茅	5.3	-0.221	-0.468 **	-0.597 **	0.014	0.227	0.219	0.347	0.165	0.071	-0.096	0.130	-0.153
	羊草	5.1	-0.189	-0.426 *	-0.680 **	-0.015	0.193	0.130	0.409 *	0.290	0.076	-0.136	0.091	0.095
开花 Blooming	大针茅	8.13	-0.243	0.157	0.312	-0.017	0.064	-0.588 **	-0.232	0.145	0.090	0.327	0.019	0.021
	羊草	7.2	-0.159	0.277	-0.251	-0.024	0.321	0.047	0.142	-0.060	0.083	-0.018	-0.250	0.282
黄枯 Withering	大针茅	9.24	-0.325	-0.300	-0.195	-0.176	0.213	0.034	0.439 *	0.053	-0.136	0.050	-0.311	-0.222
	羊草	9.25	-0.271	-0.378 *	-0.315	-0.364 *	0.127	0.189	0.279	0.331	-0.143	-0.015	-0.113	-0.398 *

* 表示相关系数通过 0.05 显著性检验水平, ** 为通过 0.01 显著性检验水平;Temperature、Precipitation 和 Sunshine 分别为生育期出现当月平均气温、降水量及日照时数,数字表示超前的月份,如:T₃表示超前 3 个月的气温,P₂表示超前 2 个月的降水量,S₁表示超前 1 个月的日照时数

2.3.2 多因子逐步回归分析

大针茅和羊草物候期与平均气温、降水量、日照时数的相关性分析表明,单因子相关分析很难判断气候变化对牧草生育期的影响。因此,本文将大针茅和羊草生育期多年平均日期的当前月及超前 3 个月的平均气温、降水量、日照时数作为潜在影响因子,进行逐步回归分析,并对各气候因子与牧草生育期进行偏回归分析,讨论平均气温、降水量、日照时数对牧草生育期的综合影响,以此揭示其主导影响因子(表 3),并建立大针茅和羊草主要物候期的气候模型。

(1)返青期:以大针茅返青期(y_1)和羊草返青期(y_2)作为因变量,各气候因子作为自变量,建立大针茅和羊草返青期与其影响的气候因子的关系模型:

$$y_1 = 94.418 + 0.182P_1 - 0.386T_2 - 0.794T_1 \tag{2}$$

$$y_2 = 101.283 + 0.199P_1 - 0.674T_2 - 1.664T_1 \tag{3}$$

大针茅返青期除了受超前 1 个月的 4 月降水量(P_1)外,超前 1 个月和 2 个月气温(T_1 和 T_2)也是影响其

返青的重要因素,三个因子共同解释约 1/3 的大针茅返青期变化,但起主导作用的仍是超前 1 个月的 4 月气温,其偏相关系数通过 0.01 的显著性水平检验。3、4 月气温升高返青期提前。羊草返青期与大针茅返青期的变化规律一致,同样受超前 1 个月的 4 月降水量(P_1)、超前 1 个月和 2 个月气温(T_1 和 T_2)的共同影响,三个因子共同解释 40%多的羊草返青期变化。

(2)开花期:以大针茅开花期(y_3)作为因变量,各气候因子作为自变量,建立大针茅开花期与其影响因子的关系模式为:

$$y_3=201.262-0.222P_2$$

(4)

从表 3 中气温或降水与大针茅显著的偏相关系数可以发现,相比返青期,开花期更多地受降水的影响。大针茅开花期主要受同期 6 月降水的主导,解释了 32%的变化,偏相关系数通过 0.01 的显著性水平检验,6 月降水量越多越有利于牧草开花。

(3)黄枯期:以大针茅黄枯期(y_4)和羊草黄枯期(y_5)作为因变量,各气候因子作为自变量,建立大针茅和羊草黄枯期与其影响因子的关系模式:

$$y_4=241.969-0.047S_1-1.100T_3+0.066P_1$$

(5)

$$y_5=267.967-1.477T-1.676T_2+0.086S$$

(6)

大针茅黄枯期除了受前 1 个月日照时数(S_1)的影响外,还受前 3 个月气温(T_3)和超前 1 个月降水(P_1)的影响,但是受前 1 个月日照时数和前 3 个月气温的影响较小,起主导作用的是超前 1 个月的 8 月降水量,其偏相关系数通过 0.05 的显著性水平检验。羊草黄枯期受当月气温、超前 2 个月气温和当月日照时数的共同影响,三者的偏相关系数均通过 0.05 的显著性水平检验,说明当月及超前 2 个月的气温越高,日照时数越短,羊草的枯黄期就越提前。

表 3 物候期与同期及超前 3 个月平均气温、降水量和日照时数逐步回归方程参数及偏相关系数检验

Table 3 Parameters of stepwise regression between phenophase and synchronal and leading three month air temperature, precipitation, and sunshine time

物候期 Phenophase	牧草 Grass	回归步数 Steps	变量名 Variable	变量偏向关检验 Partial regress testing		回归方程参数 Regression testing			
				偏相关系数 Partial correlation coefficient		R^2	R_a^2	F	P
					P				
返青 Reviving	大针茅	1	P_1	0.347	0.10	0.120	0.090	3.959	0.056
		2	T_2	-0.468	0.01	0.219	0.192	8.113	0.008
		3	T_1	-0.597	0.01	0.356	0.334	16.053	0.000
	羊草	1	P_1	0.409	0.05	0.167	0.138	5.811	0.022
		2	T_2	-0.426	0.01	0.182	0.153	6.437	0.017
		3	T_1	-0.680	0.05	0.462	0.444	24.917	0.000
开花 Blooming	大针茅	1	P_2	-0.588	0.01	0.346	0.317	12.163	0.002
	羊草	0	—	—	—	—	—	—	—
黄枯 Withering	大针茅	1	S_1	0.311	0.10	0.097	0.065	3.008	0.094
		2	T_3	-0.325	0.10	0.106	0.074	3.310	0.080
		3	P_1	0.439	0.05	0.193	0.164	6.675	0.015
	羊草	1	T	-0.304	0.05	0.132	0.101	4.274	0.048
		2	T_2	-0.378	0.05	0.143	0.112	4.664	0.040
		3	S	-0.398	0.05	0.159	0.129	5.285	0.029

Temperature、Precipitation 和 Sunshine 分别为生育期出现当月平均气温、降水量及日照时数,数字表示超前的月份,如: T_3 表示超前 3 个月的气温, P_2 表示超前 2 个月的降水量, S_1 表示超前 1 个月的日照时数

3 结论与讨论

3.1 结论

文章利用统计分析及趋势分析等数理统计方法,探讨了内蒙古鄂温克旗典型草原地区 1959—2017 年的

气候变化特征,及其优势牧草物候的变化趋势和物候期与当前及前期气象要素间的关系,主要结论如下:

(1)在过去的 59 年,鄂温克旗典型草原地区年平均气温呈极显著波动增加趋势,年降水量微弱增加,而年日照时数微弱减少,气候总体呈“暖干化”趋势。

(2)1983—2017 年的 30 多年来,大针茅和羊草的返青期均出现推迟现象,大针茅返青期推迟显著,而羊草返青期推迟不明显;大针茅开花期以 0.3 d/10 a 的速度微弱提前,而羊草开花期则出现推迟现象;大针茅和羊草的黄枯期均提前,大针茅黄枯期提前趋势显著,而羊草黄枯期以 1.5 d/10 a 的趋势提前;大针茅和羊草生长季均显著缩短。

(3)物候期与当前及超前 3 个月的平均气温、降水量和日照时数的单因子线性分析结果显示,气温升高和降水量增加均会使返青期提前,气温升高使得黄枯期提前,而降水量增加则使得黄枯期推迟。最小二乘回归法分析表明,前 2 个月的降水量能够解释大针茅开花期 32% 的变异性。

3.2 讨论

许多研究表明,在全球气候变暖背景下,北半球中高纬度地区植被生长季延长,具体表现为春季物候期显著提前、秋季物候期微弱推迟^[19-21]。本文的研究表明,鄂温克旗典型草原大针茅和羊草物候期的变化与上述结论不同,大针茅和羊草的返青期均表现出推迟的趋势,而两种牧草的黄枯期呈提前趋势,此结果与张锋等^[22]对内蒙古克氏针茅草原植物物候的变化研究得出的结论一致。

相关性研究表明,气温升高牧草返青期提前,而日照时数对返青期的影响不显著。夏季气温和降水量对大针茅开花的影响较大,对羊草的影响则不显著。秋季物候与气温呈负相关关系,即气温升高黄枯期提前,而与降水量呈正相关关系,即秋季降水增加会使得牧草黄枯期推迟。单因子线性相关分析有时能够揭示气候变化对牧草物候期影响,如羊草开花期和黄枯期主导影响因子在两种分析方式下均得到一致的结果。但多数情况下,单因子分析由于忽略了因子间的相互作用,可能会得出不正确的结论^[23]。Chen 等^[24]指出线性回归不能明确判断物候期变化趋势与冬季气温之间的关系。如,大针茅开花期由于受气温和降水多个因子的共同影响,不能从单因子分析中被检测,本文使用偏最小二乘回归法,最终检测出前 2 个月的降水量就可以解释 3 成多大针茅开花期的变化。

致谢:感谢国家基金项目(31560155)项目组成员提供技术支持,感谢内蒙古生态与农业气象中心冯旭宇提供牧业气象观测资料。

参考文献(References):

- [1] 陆佩玲, 于强, 贺庆棠. 植物物候对气候变化的响应. 生态学报, 2006, 26(3): 923-929.
- [2] 竺可桢. 中国近五千年气候变迁的初步研究. 中国科学, 1973, (2): 168-189.
- [3] 方修琦, 余卫红. 物候对全球变暖响应的研究综述. 地球科学进展, 2002, 17(5): 714-719.
- [4] 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: 156-173.
- [5] 李荣平, 周广胜, 张慧玲. 植物物候研究进展. 应用生态学报, 2006, 17(3): 541-544.
- [6] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候变暖对我国近 40 年植物物候变化的影响. 科学通报, 2002, 47(20): 1582-1587.
- [7] Cleland E E, Allen J M, Crimmins T M, Dunne J A, Pau S, Travers S E, Zavaleta E S, Wolkovich E M. Phenological tracking enables positive species responses to climate change. Ecology, 2012, 93(8): 1765-1771.
- [8] 国家技术监督局. GB/T 17297—1998 中国气候区划名称与代码 气候带和气候大区. 北京: 中国标准出版社, 1998: 3-4.
- [9] 徐兴奎, 陈红, Levy J K. 气候变暖背景下青藏高原植被覆盖特征的时空变化及其成因分析. 科学通报, 2008, 53(4): 456-462.
- [10] 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.
- [11] 布和敖斯. 鄂温克族自治旗草地资源与评价. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T17297—1998 中国气候区划名称与代码 气候带和气候大区. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [13] 张敬超. 气候变化对鄂温克族自治旗草原牧草生长的影响. 农业与技术, 2018, 38(16): 228-228.

- [14] 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.
- [15] 徐维新, 辛元春, 张娟, 校瑞香, 王晓明. 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征. 生态学报, 2014, 34(7): 1781-1793.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版). 北京: 气象出版社, 2007: 105-234.
- [17] 孙鸿烈, 郑度. 青藏高原形成演化与发展. 广州: 广东科技出版社, 1998: 1-45.
- [18] 师桂花. 气候变化对锡林郭勒盟典型草原天然牧草物候期的影响. 中国农学通报, 2014, 30(29): 197-204.
- [19] Chmielewski F M, Rötzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 108(2): 101-112.
- [20] 丁明军, 张懿铨, 刘林山, 王兆锋. 青藏高原植物返青期变化及其对气象变化的响应. 气候变化研究进展, 2011, 7(5): 317-323.
- [21] Zhang G L, Zhang Y J, Dong J W, Xiao X M. Green-up dates in the Tibetan Plateau have continuously advanced from 1982 to 2011. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 111983—20170(11): 4309-4314.
- [22] 张峰, 周广胜, 王玉辉. 内蒙古克氏针茅草原植物物候及其与气候因子关系. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1312-1322.
- [23] Luedeling E, Yu H Y, Xu J C. Replies to Shen, Chen et al., and Yi and Zhou; linear regression analysis misses effects of winter temperature on Tibetan vegetation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(19): E95.
- [24] Chen X Q, Hu B, Yu R. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate eastern China. Global Change Biology, 2005, 11(7): 1118-1130.