

近50年内蒙古地区生长季变化趋势

郭灵辉^{1,2}, 吴绍洪¹, 赵东升¹, 冷国勇^{1,2}, 张清雨^{1,2}

(1.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 以内蒙古地区47个气象站点1961~2010年气象数据为基础, 应用Mann-Kendall趋势性检验和线性回归法分析了不同指标下内蒙古地区生长季变化趋势特征以及区域差异。结果表明: 1961~2010年内蒙古地区生长季长度增加趋势明显, 增加幅度约为13.0~17.0 d, 各指标间差异小、一致性较高, 可作为表征该区温度变化的一个重要应用指标; 整个内蒙古地区生长季趋势的平均状态很大程度上掩盖了指标间的区域差异, 内蒙古中西部地区生长季变化对温度阈值比较敏感, 阿拉善盟地区0℃阈值生长季开始时间提前、生长季长度延长较强烈, 乌兰察布盟以及锡林郭勒盟等地10℃阈值生长季结束时间延后、生长季长度增加更为突出; 有无霜期限制对内蒙古中部大部分地区生长季趋势影响较大, 尤其是对生长季开始时间。

关键词: 内蒙古; 生长季; 气候变化

中图分类号: P423.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)04-0505-08

在全球变暖背景下, 近100 a来中国年平均地表气温上升明显, 升温幅度约为0.5~0.8℃, 近50 a来增温更加明显, 全国年平均地表气温增加1.1℃, 增温速率为0.22℃/10a, 明显高于全球或北半球同期平均增温速率^[1]。气候变暖对生态系统的强烈影响正改变着生态系统固有的自然过程, 改变着植被群落的组成、结构、空间格局及功能^[2]。生长季是生态系统功能发挥的重要控制因素^[3]。生长季延长能够增加作物生长时间、确保作物充分成熟, 增加产量, 相反, 生长季缩短可能会导致作物因没有完全成熟而减产。目前, 生长季变化研究成为全球变化领域的一个重要内容, 受到普遍重视^[4]。

研究者大多通过物候、植被归一化指数以及地面气温3种途径来阐述生长季变化^[5]。物候现象能够精确反映气候变化下生长季波动与变化, 但多数研究主要集中于某些区域的个别植物^[6, 7], 观测与研究结果也仅在该种植物生活区或邻近地区有意义。此外, 区域性物候数据收集工作量大并且通常时间序列较短。NDVI数据空间覆盖广、分

辨率高, 便于区域乃至全球气候变化研究^[8], 但NDVI数据时间分辨率低, 这可能掩盖植被状态的真实变化情况^[9]; 气候学上的生长季, 需要根据特定区域的气候条件考虑不同的限制因素, 在高纬度地区温度和光照的有效性是刺激植物生长的两个重要因素, 而土壤参数及水分的有效性可能在某些地区更为重要, 然而, 在大尺度生长季时空格局研究中, 常使用温度数据, 这种方法对原始数据要求较低, 利于探讨长时段生长季变化^[10, 11]。

气候学上的生长季是指介于某界限温度的持续时间, 但是目前对于气候学生长季指标还没有一致认识^[12]。Skaggs等采用春季最后一次霜冻和秋季最早一次霜冻的时间间隔来表示^[13]; Bootsma以5 d加权日平均温度大于5.5℃阈值来界定^[14]; Jones等和Frich等虽均将日平均气温5℃作为生长季阈值, 但Jones等以第一次连续4 d大于该阈值作为生长季的开始时间, 将最后一次连续4 d大于该阈值作为生长季结束期, 而Frich等却以连续5 d为标准^[15, 16]; Jones等将霜冻限制因素纳入生长季指标中, 以冬季最后一次霜冻后第一次连续5 d日

收稿日期: 2012-06-25; **修订日期:** 2012-11-02

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2011CB403206)、国家十二五科技支撑计划(2012BA C19B04)资助。

作者简介: 郭灵辉(1983-), 男, 河南洛阳人, 博士研究生, 主要从事气候变化与生态系统风险评估学习研究。E-mail: 2277410@163.com

通讯作者: 吴绍洪, 研究员。E-mail: wush@igsrr.ac.cn

平均气温大于5℃作为生长季的开始,将冬季最早一次霜冻前最后一次连续5 d日平均气温大于5℃作为生长季的结束^[17]。在中国,则多数以0℃和10℃界限温度作为区域生长季研究的重要指标^[18-20]。气候变化背景下,平均温度的变化可能反映在生长季参数上,然而,并非所有指标都以同样的方式反映气候变化,生长季指标不同,结果可能各异。

内蒙古地区以草地生态系统为主,草原植被覆盖着内蒙古总面积的近3/4,是全国天然草地面积的1/5^[21]。近50 a该区气候以0.4℃/10a的速率变暖,变暖幅度远远超过中国大陆平均增温水平^[22],是全球变化最为敏感的区域之一。本文比较分析近50 a来内蒙古地区生长季变化趋势,探讨其时空差异,以期准确把握该区气候变化对内蒙古植被生产的影响、为农牧业生产部门制定应对气候变化政策提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 数据

本文所用数据为中国气象局气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)提供的内蒙古50个气象站点1961~2010年日平均气温数据。在进行数据处理之前,对其进行如下预处理:①适当剔除其中年份序列不足的站点(3个);②插补年内缺失数据,剔除年内缺值大于5%的站点,将缺值1 d或者连续缺值小于等于2 d的缺失值,使用同一站点临近2 d的均值将其插补;对极个别连续缺值大于2 d的缺值数据,利用临近4 d的均值代替。整理得到内蒙古1961~2010年47个站点的日平均气温数据(图1)。

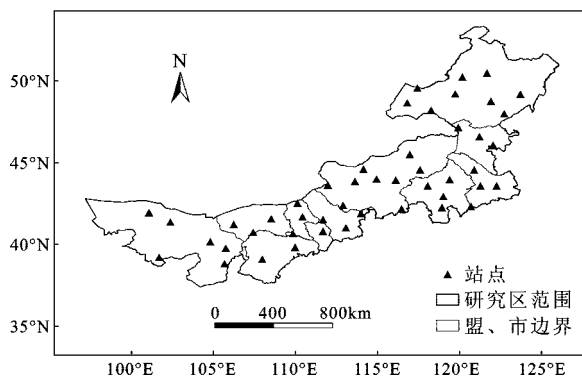


图1 本文选择的47个内蒙古地区气象站点分布

Fig.1 The locations of the 47 selected stations in Inner Mongolia

1.2 生长季指标选择

0℃可表示土壤开始解冻或冻结,草本植物的萌发与休眠^[21];5℃是越冬作物开始生长活动的温度,种子在温度达到5℃时开始发芽,而当土壤温度达到5℃时开始生长,平均温度稳定超过5℃的持续期常作为冷季作物生长期标准^[23];10℃可表示喜温作物开始播种与生长,其初日是棉花、玉米、花生等喜温作物开始播种的日期,终日为水稻停止灌浆、棉花开始成熟的时期^[24]。0℃、5℃、10℃被认为是重要的界限温度,可以用来表征气候变化对作物和草本植物生长的可能影响。

为消除日平均温度逐日变化的不稳定波动,显示出温度变化的平稳性,一般采用5日滑动平均法来确定某一年份稳定通过某界限温度的起止日期^[25]。基于上述,本研究选用该3个温度阈值,使用5日滑动平均后日平均温来比较研究内蒙古地区不同温度阈值生长季趋势变化。同时,本文以5℃阈值为例,对比分析采用5日滑动平均与否生长季趋势变化的异同。

春秋期间日平均气温波动较大,冷暖反复性强,有无霜冻限制(日平均气温低于0℃)对生长季影响比较显著,霜冻标准也常被纳入生长季指标中^[17]。因此,本研究也重点分析探讨了霜冻标准对研究区生长季变化的影响。具体生长季指标见表1。

1.3 数据处理

1) 5日滑动平均:采用如下公式计算:

$$RT_N = \text{Mean}(T_{(N-2)} + T_{(N-1)} + T_N + T_{(N+1)} + T_{(N+2)}) \quad (1)$$

式中, RT_N 为第 N 天的5日滑动日平均气温, T_N 为原始的日平均气温,若 N 为每年的1月1日或1月2日以及每年的12月30日或31日时, RT_N 等于 T_N 。

2) 生长季趋势计算与趋势检验。首先根据生长季指标分别计算出各站点1961~2010年各年生长季开始、结束时间以及长度,然后用最小二乘法进行线性回归,分别求得各站点近50 a生长季参数的斜率,从而计算出各参数近50 a的线性变化幅度,以此作为生长季参数变化趋势的度量。很多气候要素并非正态分布,气候要素的长期趋势常用线性趋势法^[26]。生长季趋势显著性分析采用Mann-kendall(M-K)法,置信水平为 $p < 0.05$,该方法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法,检验不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,适用于水文、气象等非正态

表1 不同生长季指标

Table 1 Definition of the various thermal growing season indices used in this study

生长季开始	生长季结束	生长季长度
5日滑动平均后第一次连续5 d日平均气温大于0°C的第一天(S1)	5日滑动平均后最后一次连续5 d日平均气温大于0°C的最后一天(E1)	S1至E1(GSL1)
5日滑动平均后第一次连续5 d日平均气温大于5°C的第一天(S2)	5日滑动平均后最后一次连续5 d日平均气温大于5°C的最后一天(E2)	S2至E2(GSL2)
5日滑动平均后第一次连续5 d日平均气温大于10°C的第一天(S3)	5日滑动平均后最后一次连续5 d日平均气温大于10°C的最后一天(E3)	S3至E3(GSL3)
第一次连续5 d日平均气温大于5°C的第一天(S4)	最后一次连续5 d日平均气温大于5°C的最后一天(E4)	S4至E4(GSL4)
春季霜后第一次连续5 d日平均气温大于5°C的第一天(S5)	秋季霜前最后一次连续5 d日平均气温大于5°C的最后一天(E5)	S5至E5(GSL5)

分布的数据^[27];相关性分析使用SPSS进行。

2 结果与分析

2.1 生长季开始时间变化特征

生长季开始时间均呈提前趋势,但指标间差异较大(表2)。S1生长季开始时间提前最长,平均为10.4 d;与S1相比,S4生长季开始时间提前稍晚,为9.8 d,两指标下所有站点均呈提前趋势,最小提前时间分别为3.7 d和3.5 d;S2与S3生长季开始时间分别提前了8.2 d和9.4 d,所有站点中仅S2出现了一次延迟现象,但延迟时间不足1 d;S5生长季开始提前时间最短,仅为6.5 d,且站点间波动较大,有4个站点出现了不同程度的延后现象。

表2 不同指标下生长季开始时间变化趋势

Table 2 Tendency of onset of the thermal growing season among different indices

统计量	生长季开始时间线性变化幅度(d)				
	S1	S2	S3	S4	S5
平均	-10.4	-8.2	-9.4	-9.8	-6.5
标准差	4.1	3.0	2.7	3.4	3.6
最小值	-21.0	-15.9	-15.1	-17.5	-14.4
最大值	-3.7	0.0	-3.8	-3.5	0.3

M-K趋势性分析显示,不同指标下生长季开始时间呈显著提前趋势的站点分别为30个、28个、28个、25个和17个(S1, S2, S3, S4, S5),分别占站点总数的64%、60%、60%、53%和36%;其余站点变化趋势不显著,没有出现显著延迟现象。

不同指标下生长季开始时间趋势相关关系较

弱(表3)。其中,S1与S2生长季开始时间趋势相关系数较小,为0.33,而S3与S1、S2间相关性更弱,相关系数分别为0.17和-0.13,尤其与S2呈微弱的负相关关系;从空间上来看,内蒙古中西部地区,S1、S2、S3生长季开始时间变化比较敏感,例如,在内蒙古阿拉善盟、鄂尔多斯市,S1生长季开始提前趋势比S2早5 d以上,而在内蒙古鄂尔多斯市东南部以及呼和浩特市西南部S3生长季开始变化趋势比S2晚3~5 d(图2a、c)。S2与S4相关关系显著($p < 0.01$),且相关系数较大,为0.49,区域间差异不太明显(图2d)。S4与S5相关系数最大,为0.52,但在内蒙古中部鄂尔多斯市、包头市、呼和浩特市、巴彦淖尔市以及乌兰察布市等地该两指标下生长季开始趋势相差较大,基本上在5~11 d。

表3 不同指标下生长季开始时间趋势相关关系

Table 3 Correlation coefficients of tendencies of the thermal growing season start among different indices

指标	相关系数				
	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1.00				
S2	0.33*	1.00			
S3	0.17	-0.13	1.00		
S4	0.35**	0.49**	-0.06	1.00	
S5	0.19	0.08	0.19	0.52**	1.00

注:**表示 $p < 0.01$,*表示 $p < 0.05$, $n=47$ 。

2.2 生长季结束时间趋势特征

生长季结束时间变化趋势与生长季开始相反,呈延后趋势(表4)。S1生长季结束延后时间最

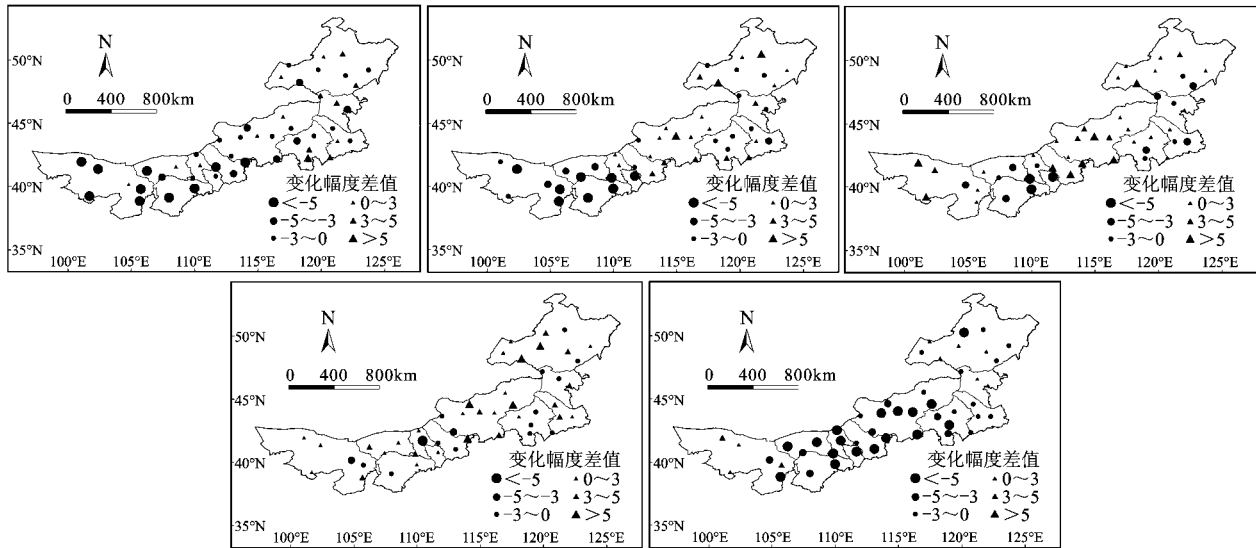


图2 不同生长季开始时间趋势差(A为S1-S2,B为S1-S3,C为S2-S3,D为S2-S4,E为S4-S5)

Fig.2 Differences in the start tendencies of the growing season between selected indices (A, B, C, D, E means the difference from S1 minus S2, S1 minus S3, S2 minus S3, S2 minus S4, S4 minus S5, respectively)

小,为3.8 d,且47个站点有5个站点出现微弱的提前趋势,最大提前时间为2.1 d,站点间波动较大;S3生长季结束推迟趋势最为明显,推迟时间为7.5 d,其次是S4、S5、S2,分别延后7.2 d、6.6 d和6.3 d,该几个指标下所有站点均无出现提前现象,最小延后时间分别为0.8 d、2.0 d、0.9 d和0 d。

M-K 趋势性分析显示,不同指标下生长季结束时间呈显著延后趋势的站点分别为20个、22个、29个、22个和26个(S1, S2, S3, S4, S5),分别占站点总数的43%、47%、62%、47%和55%;其余站点生长季结束时间变化趋势不显著,没有出现显著提前现象。

表4 不同指标下生长季结束时间变化趋势

Table 4 Tendency of cessation of the thermal growing season among different indices

统计量	生长季结束时间线性变化幅度(d)				
	S1	S2	S3	S4	S5
平均	3.8	6.3	7.5	7.2	6.6
标准差	3.0	2.5	3.0	2.6	2.9
最小值	-2.1	0.0	0.8	2.0	0.9
最大值	11.0	10.7	14.0	13.1	12.3

不同指标下生长季结束时间趋势相关关系也较弱(表5)。其中,S1与S2生长季结束趋势虽显著相关,但相关系数较小,为0.32,S3与S2相关系数为-0.004,呈微弱的负相关关系,S3与S1相关系

数近乎于0;从空间上来看,S1、S2、S3生长季结束时间趋势在内蒙古中部地区差异较大,例如,在内蒙古中部的包头市、呼和浩特市、乌兰察布盟等地,S3生长季结束趋势比S1晚5d以上,而在内蒙古的锡林郭勒市大部分地区,S2生长季结束趋势比S1晚3~5 d(图3a、b、c)。S4与S2、S5生长季结束趋势相关关系显著($p < 0.01$),且相关系数较大,分别为0.51和0.55,而且区域间差异不太明显(图3 d、e)。

表5 不同指标下生长季结束时间趋势相关关系

Table 5 Correlation coefficients of tendencies of the thermal growing season end among different indices

指标	相关系数				
	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1.00				
S2	0.32*	1.00			
S3	0.04	-0.004	1.00		
S4	0.23	0.51**	0.01	1.00	
S5	0.44*	0.36	0.11	0.55**	1.00

注:**表示 $p < 0.01$,*表示 $p < 0.05$, $n=47$ 。

2.3 生长季长度趋势特征

不同指标下生长季长度均呈增加趋势,增加幅度为13.0~17.0 d(表6)。S4生长季长度增加幅度最大,为17.0 d,S3、S2、S1和S5增加幅度逐渐减小,分别为16.9 d、14.5 d、14.2 d和13.0 d,其中S1

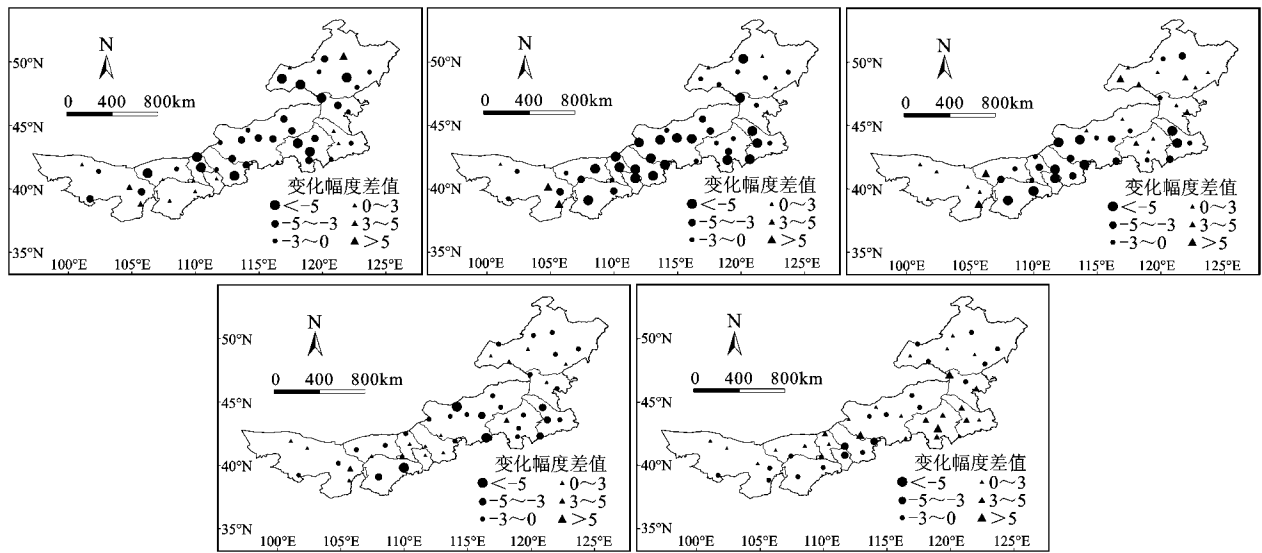


图3 不同生长季结束时间趋势差(a为S1-S2,b为S1-S3,c为S2-S3,d为S2-S4,e为S4-S5)

Fig.3 Differences in the cessation tendencies of the growing season between selected indices (A, B, C, D, E means the difference from S1 minus S2, S1 minus S3, S2 minus S3, S2 minus S4, S4 minus S5, respectively)

表6 不同指标下生长季长度变化趋势

Table 6 Tendency of length of the thermal growing season among different indices

统计量	生长季长度线性变化幅度(d)				
	S1	S2	S3	S4	S5
平均	14.2	14.5	16.9	17.0	13.0
标准差	6.0	3.5	4.8	4.8	5.1
最小值	1.6	6.5	6.2	7.7	0.7
最大值	29.4	25.0	27.5	26.7	23.9

生长季长度趋势站点间波动最大,增加幅度由最小的1.6 d,增加到29.4 d。各指标下所有站点均没有出现生长季长度缩短趋势。

M-K趋势性分析显示,S1、S2、S3、S4和S5生长季长度呈显著增加趋势的站点分别有31个、40个、40个、38个和33个,分别占站点总个数的66%、85%、85%、81%和70%;其余站点生长季长度变化趋势不显著,没有出现显著减少现象。

指标间生长季长度趋势相关关系较弱(表7)。S1与S2、S1与S3以及S2与S3生长季长度变化趋势相关系数分别为0.38、0.20和0.13,相关关系微弱,生长季长度趋势空间差异较大,尤其在内蒙古中西部地区(图4 a、b、c)。由图4a可知,在内蒙古西部的阿拉善盟大部以及鄂尔多斯市的西南部,S1生长季长度延长趋势比S2长5 d以上;在内蒙古的锡林郭勒盟的西南部、乌兰察布盟以及包

头市等地区,S1生长季长度趋势比S3短5~13 d,而在内蒙古西部的阿拉善盟大部、鄂尔多斯市的西南部以及包头市等,S1生长季长度趋势却比S3长5 d左右(图4 b、c)。S2与S4显著相关,相关系数较大,为0.44,区域中除了锡林郭勒盟大部以及通辽市部分地区生长季长度变化差别较大外,其它地区差异较小(图4d)。S4与S5生长季长度趋势相关关系极显著,且相关系数较大,为0.64,但在内蒙古中部的大部分地区生长季长度变化相差较大,最长可达12 d(图4e)。

表7 不同指标下生长季长度趋势相关关系

Table 7 Correlation coefficients of tendencies of the thermal growing season length among different indices

指标	相关系数				
	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1.00				
S2	0.38*	1.00			
S3	0.20	0.13	1.00		
S4	0.30*	0.44*	0.02	1.00	
S5	0.46*	0.21	-0.008	0.64**	1.00

注:**表示 $p<0.01$,*表示 $p<0.05$, $n=47$ 。

3 讨论

1961~2010年内蒙古地区生长季长度呈增加趋势,增加幅度约为13.0~17.0 d,增加趋势比较明

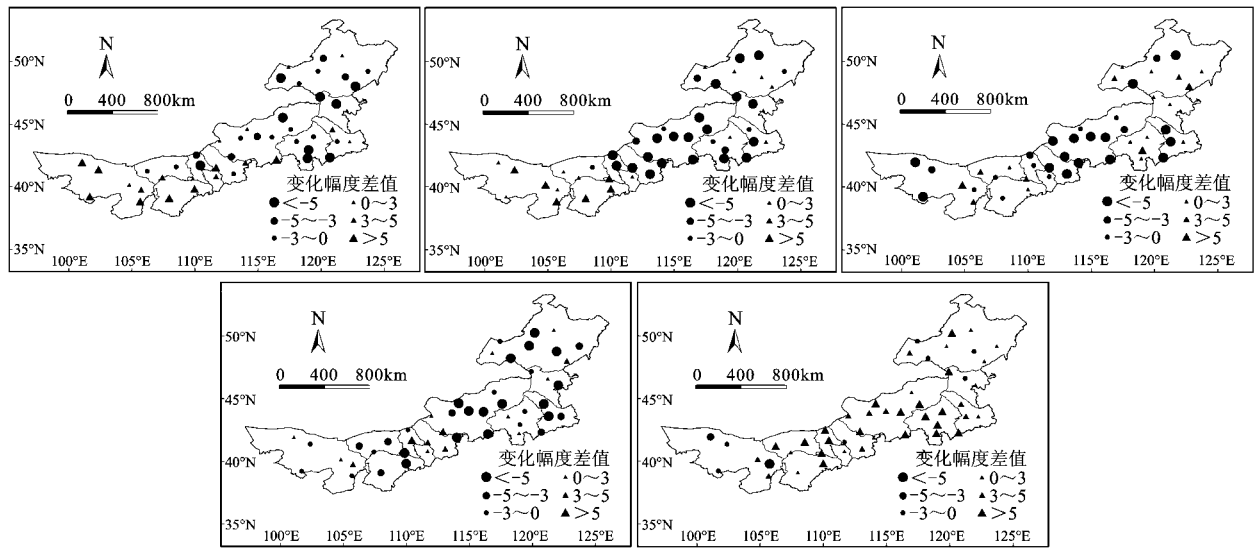


图4 不同生长季长度趋势差(a为S1-S2,b为S1-S3,c为S2-S3,d为S2-S4,e为S4-S5)

Fig.4 Differences in the length tendencies of the growing season between selected indices (a, b, c, d, E means the difference from S1 minus S2, S1 minus S3, S2 minus S3, S2 minus S4, S4 minus S5, respectively)

显(趋势显著性站点比达65%以上),不同指标间差异小、一致性较高。Liu等与徐铭志等分别分析了中国1955~2000年和1961~2000年生长季变化特征,发现生长季长度分别增加了6.9~8.7 d与6.6 d^[28, 29]。与此两者相比,本研究生长季长度增加幅度较大,这可能是由于半个世纪以来,全国年平均地表气温增加1.1℃,增温速率为0.22℃/10a^[1],而内蒙古近50 a气候变暖速率为0.4℃/10a,是前者的1.8倍^[22]。在同纬度的东北三省和新疆维吾尔自治区的研究发现,1959~2008该两地区生长季长度分别增加了11 d和12.6 d^[23, 26],这与本文的研究较为一致,东北地区生长季增加幅度稍小,可能是由于该地区受东南季风影响且距离海洋近,气温升高速率小所致。在物候方面,侯琼等发现1981~2007年内蒙古主要产粮区玉米生育期延长,主要表现在春季物候期提前,秋季物候期推后,与20世纪80年代相比,21世纪初玉米全生育期延长了10~22 d^[30],这说明温度生长季长度趋势在一定程度上能够正确反映内蒙古地区作物生长季变化的真实趋势,可作为表征本区温度变化的一个重要应用指标。

生长季起始与生长季结束趋势共同决定着生长季长度变化,本研究发现所有指标下生长季起始变化趋势对整个生长季长度趋势影响稍大,各指标下前者贡献率分别为0.73、0.57、0.56、0.58以及0.50 (S1、S2、S3、S4、S5),这与多数研究吻合^[5, 12, 23, 31]。春

季回暖早、温度升高快,春播期较过去相应提前时间^[32],但春季升温易造成土壤水分散失加快,农田土壤墒情下降,春季回暖早与春季水分的不协调可能会影响夏粮和秋粮作物的实际播种期与种植面积^[33];秋季是作物成熟的季节,秋季霜冻经常导致农作物生长不充分、减产严重,然而近些年来生长季结束时间延后,在一定程度上保证了作物生长时间,有利于产量提高。

从空间格局上来看,内蒙古中西部地区生长季趋势对温度阈值比较敏感。在内蒙古西部阿拉善盟大部分地区,0℃阈值生长季开始时间、生长季长度分别比5℃阈值提前、延长5 d以上;0℃阈值生长季结束时间延后、生长季长度延长幅度在内蒙古中部的乌兰察布盟以及锡林郭勒盟大部地区分别比10℃阈值少5 d以上;在内蒙古西部的阿拉善盟大部分地区以及中部的乌兰察布盟以及锡林郭勒盟部分地区,5℃阈值生长季开始时间提前、生长季长度增加幅度远没有10℃阈值强烈。这意味着近50 a来内蒙古西部的阿拉善盟地区0℃以上无霜期增加趋势较为强烈,内蒙古中部的乌兰察布盟以及锡林郭勒盟等地高温时间(10℃以上)增加趋势更明显,而内蒙古的东部地区0℃、5℃、10℃以上生长季变化幅度差异较小。这可能是由于内蒙古自治区地域广袤,由东向西大陆性气候越来越显著所致。东部山区距海洋近,下垫面植被覆盖好,气温日较差、年较差小,而内蒙古

西部地区,海拔较高、植被覆盖差,尤其是荒漠戈壁气温增减迅速,变化大^[34]。

无霜期限制5℃阈值生长季变化比有霜期限制5℃阈值下生长季变化明显,生长季开始时间、结束时间及长度分别较后者提前3.3 d、延后0.6 d、增长4.0 d,尤其在内蒙古的中部、东南部地区,从内蒙古的鄂尔多斯市、巴彦淖尔盟到锡林郭勒盟以及内蒙古东南部的赤峰市等大部分地区,无霜期限制5℃阈值生长季开始时间提前、生长季长度延长幅度都较有霜期多5 d左右。内蒙古锡林郭勒盟、阴山山脉中段以及鄂尔多斯市西部等地区,在作物生育期内气温不稳定,是内蒙古的重霜冻区,霜冻的发生常给农牧业造成严重损失^[34]。本研究中该区域无霜期限制生长季开始趋势、长度趋势比有霜期限制明显,在一定意义上说明该区作物生育期内气温不稳定性可能进一步增强,尤其是在春季。

4 结 论

在全球变暖背景下,1961~2010年内蒙古地区生长季开始时间提前、结束时间延后、长度增加。不同生长季指标间差异小、一致性较高,一定程度上能够正确反映内蒙古地区作物生长季变化的真实趋势,可作为表征本区温度变化的一个重要应用指标。从空间格局上来看,内蒙古中西部地区生长季趋势对温度阈值比较敏感,而内蒙古中部大部分地区无霜期限制生长季开始趋势、长度趋势比有霜期限制明显,在一定意义上说明该区作物生育期内气温不稳定性可能进一步增强,尤其在春季。

参考文献:

- [1] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3~8.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability[R]. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [3] White M A, Running S W, Thornton P E. The impact of growing-season length variability on carbon assimilation and evapotranspiration over 88 years in the eastern US deciduous forest[J]. International Journal of Biometeorology, 1999, 42(3): 139-145.
- [4] Chen X, Tan Z, Schwartz M D, et al. Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in Northern China[J]. International Journal of Biometeorology, 2000, 44(2): 97-101.
- [5] Linderholm H W. Growing season changes in the last century [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 137(1-2): 1-14.
- [6] 郑景云,葛全胜,郝志新. 气候增暖对我国近40年植物物候变化的影响[J]. 科学通报, 2002, 47(20): 1582~1587.
- [7] 陈效逵,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[J]. 中国农业气象, 2001, 22(1): 1~5.
- [8] Myneni R B, Hall F G, Sellers P J, et al. The interpretation of spectral vegetation indexes [J]. Geoscience and Remote Sensing, 1995, 33(2): 481-486.
- [9] Zhou L, Tucker C J, Kaufmann R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 - 1999[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(D17): 20069-20083.
- [10] Prentice I C, Cramer W, Harrison S P, et al. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil Properties and climate[J]. Journal of Biogeography, 1992, 19(2): 117-134.
- [11] Neilson R. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance[J]. Ecological Applications, 1995, 5(2): 362-385.
- [12] Walther A, Linderholm H W. A comparison of growing season indices for the Greater Baltic Area[J]. International Journal of Biometeorology, 2006, 51(2): 107-118.
- [13] Skaggs R H, Baker D G. Fluctuations in the length of the growing season in Minnesota [J]. Climatic Change, 1985, 7(4): 403-414.
- [14] Bootsma A. Long term (100 yr) climate trends for agriculture at selected locations in Canada[J]. Climatic Change, 1994, 26(1): 65-88.
- [15] Frich P, Alexander L, Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. Climate Research, 2002, 19: 193-212.
- [16] Jones P, Briffa K. Growing season temperatures over the former Soviet Union[J]. International Journal of Climatology, 1995, 15(9): 943-959.
- [17] Jones P, Briffa K, Osborn T, et al. Relationships between circulation strength and the variability of growing-season and cold-season climate in northern and central Europe[J]. The Holocene, 2002, 12(6): 643-656.
- [18] 郑 度,杨勤业,吴绍洪,等. 中国生态地理区域系统研究[M]. 北京: 商务印刷馆, 2008: 102~150.
- [19] 赵东升,吴绍洪. 近40年青藏高原主要生物温度指标的变化趋势[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 431~439.
- [20] 张戈丽,陶 健,董金玮,等. 1960~2010年内蒙古东部地区生长季变化分析[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2323~2332.
- [21] 孟淑红,杨 生,天 莹. 内蒙古草地资源及草业发展现状、问题与对策[J]. 中国草地, 2004, 26(5): 69~74.
- [22] 尤 莉,沈建国,裴 浩. 内蒙古近50年气候变化及未来

- 10~20年趋势展望[J]. 内蒙古气象, 2002, (4): 14~18.
- [23] 台秉洋, 刘滨辉. 气候变暖背景下东北三省气候生长季时空变化特征[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(4): 34~40.
- [24] 甄文超, 王秀英. 气象学与农业气象学基础[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 50~58.
- [25] 缪启龙, 丁园圆, 王 勇, 等. 气候变暖对中国热量资源分布的影响分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(5): 934~944.
- [26] Jiang F, Hu R, Zhang Y, et al. Variations and trends of onset, cessation and length of climatic growing season over Xinjiang, NW China[J]. Theoretical Applied Climatology, 2011, 106(3-4): 449-458.
- [27] 郭小芹, 刘明春, 钱 莉, 等. 从Mann-Kendall特征看石羊河流域降水量的演变规律[J]. 干旱区地理, 2010, 33(4): 593~599.
- [28] Liu B, Henderson M, Zhang Y, et al. Spatiotemporal change in China's climatic growing season 1955 - 2000[J]. Climatic Change, 2010, 99(1-2): 93-118.
- [29] 徐铭志, 任国玉. 近40年中国气候生长期的变化[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 306~312.
- [30] 侯 琼, 郭瑞清, 杨丽桃. 内蒙古气候变化及其对主要农作物的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 560~564.
- [31] Song Y, Linderholm H W, Chen D, et al. Trends of the thermal growing season in China, 1951-2007[J]. International Journal of Climatology, 2010, 30(1): 33-43.
- [32] 云文丽, 侯 琼, 乌兰巴特尔. 近50年气候变化对内蒙古典型草原净第一性生产力的影响[J]. 中国农业气象, 2008, 3(29): 294~297.
- [33] 尤 莉, 程玉琴, 郭瑞清, 等. 内蒙古赤峰地区气候变暖及其影响[J]. 中国农业气象, 2008, 29(2): 134~138.
- [34] 王文辉. 内蒙古气象[M]. 北京: 气象出版社, 1990, 50~132.

Change Trends of Growing Season over Inner Mongolia in the Past 50 years

GUO Ling-hui^{1,2}, WU Shao-hong¹, ZHAO Dong-sheng¹, LENG guo-yong^{1,2}, ZHANG Qing-yu^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In this study, the characteristics of change trends of growing season and their spatial differences among the different indicators over Inner Mongolia were analyzed, using meteorological data recorded in 47 meteorological stations over the year 1961-2010, based on Mann-Kendall trend test and linear regression method. The results showed that the growing season length of Inner Mongolia region increased significantly from 1961 to 2010, about 13.0-17.0 days. The high consistency among different indices meant that thermal growing season can be used as an key application indicators to reflect temperature changes in this region. However, the average growing season trends over the whole region largely covered the spatial differences between the indices. Growing season trends in western and central Inner Mongolia were more sensitive to the temperature threshold. e.g. the start of the growing season of 0°C threshold shifted relatively earlier, and the length increased strongly in Alxa League, while the increasing end and length was more prominent under 10°C threshold in Ulanqab and Xilingol League. Including or excluding a frost criterion had a significant impact on the growing season trends in most central parts of Inner Mongolia, especially on the beginning of the growing season.

Key words: Inner Mongolia; growing season; climate change