

大兴安岭东部近 30 年气候变化及对玉米、大豆生长发育的影响

王彦平¹, 阴秀霞¹, 候琼², 曲学斌¹, 唐红艳², 陈素华²

(1. 内蒙古呼伦贝尔市气象局, 内蒙古 海拉尔 021008; 2. 内蒙古生态与农业气象, 呼和浩特 010051)

摘要:利用内蒙古大兴安岭东部扎兰屯市、阿荣旗及莫旗农业气象试验站近 30 a 的玉米、大豆生长季(5—9 月)气象观测资料及产量资料,运用数理统计、小波分析和积分回归等方法分析了该区域近 30 a 气候变化特征及对玉米、大豆生长发育及产量的影响。结果表明:1984—2013 年,研究区域生长季平均气温呈极显著上升趋势,气候倾向率为 0.552℃/10 a,主要周期为 22~26 a,经历过 3 次震荡,有增强趋势;生长季降水量总体呈下降趋势,气候倾向率为 25.838 mm/10 a,主要周期为 19~24 a,经历过 4 次震荡,有增强趋势;作物生长季(5—9 月)干燥指数总体呈现上升趋势,气候倾向率为 0.154/10 a,进入 21 世纪干燥指数呈明显波动上升趋势,但近期又处于低值区;气候变化对大兴安岭东部地区农作物生育期影响不大,作物播种期、收获期及各发育阶段持续天数相对稳定;温度和降水对不同农作物生长和产量的影响效应不同,对同一种作物不同阶段的生长发育影响效应亦不同。

关键词:大兴安岭东部; 气候变化; 农作物; 生长; 产量

中图分类号:S532;S162

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)04-0325-06

Influence of Climate Change on Corn and Soybean in Eastern Da Hinggan Mountains over the Last 30 Years

WANG Yanping¹, YIN Xiuxia¹, HOU Qiong², QU Xuebin¹, TANG Hongyan², CHEN Suhua²

(1. HulunBeier Weather Bureau of Inner Mongolia, Hailaer, Inner Mongolia 021008, China;

2. The Ecological and Agricultural Meteorology Center of Inner Mongolia, Hohhot 010051, China)

Abstract:Based on the data of meteorological observation and yields during the corn and soybean growth periods (i. e. from May to September) over the past 30 years in the county of Zhalantun, Arong, Molidawa, east of Da Hinggan Mountains, Inner Mongolia, using the mathematical statistics, wavelet analysis and integral regression methods, we analyzed the characteristics of climate change which influences on growth, development, and yields of corn and soybean. The results show that from 1984 to 2013 the average temperature in growth periods significantly increased in the above mentioned regions, the climate tendency rate was 0.552℃/10 years, climate experienced three oscillation per 22~26 years as a main cycle, which show the enhanced trends. Accordingly, in the same time, the precipitation shows overall downward trend, the climate tendency rate is 25.838 mm/10 years, four oscillations of climate form a main cycle per 19~24 years, which shows increasing trends. Likewise, the aridity index shows overall rising trend, the climate tendency rate is 0.154/10 years, in the 21st century, the aridity index shows significantly fluctuating d increase, but presents the low value range recently, climate change has no significant influence on the crop growth and development stage in east of Da Hinggan Mountains, the sustained days of sowing, harvesting date and different developmental stages were relative stabilization. Temperature and precipitation have different influences on the growth and yield of different crops, even for growth and development of the same crop at different stages.

Keywords:eastern Da Hinggan Mountains; climate change; crops; growth; yields

国内外研究表明,气候变化对农业生产产生众多影响,其中温度和降水的影响最为显著^[1]。气温上升导致的农作物物候期延长、春旱加剧、病虫害多发,进

而影响各类农作物生长、种植面积、作物布局、熟制、产量和品质等^[2-4];降雨量的变化是目前研究全球气候变化对农业生产影响最为重要的因素,特别对干旱

半干旱地区雨养农业意义更为重大^[5-7]。

气候变暖背景下,大兴安岭东部地区农业生产也发生明显变化,其中较为明显的表现为玉米种植北界北移,农作物早熟品种种植比例减少,中晚熟品种种植比例增加等^[8]。以往对这一区域气候变化与农作物生长的研究,大部分仅限于某个或几个气象要素对农作物生长的影响或对某个生育阶段的影响,缺乏系统性,在时间和空间尺度上的代表性较差,尤其缺少针对气候变化对作物全生育期影响的系统评估。本文选取大兴安岭东部主要农作区的扎兰屯市、阿荣旗及莫旗近 30 a(1984—2013 年)生长季气象数据及相应的玉米、大豆产量数据的平均值作为数据来源,该区域位于大兴安岭东麓的东南端,行政划分属于内蒙古自治区呼伦贝尔市,综合气候区划结果显示,这一区域属于温暖半湿润农牧业区,气温较高,无霜期较长,降水量较多,农业气候资源及农作物种植特点等方面体现了大兴安岭东部地区的典型气候特征和农作物栽培特点^[8],因此选取该区域进行气候条件对农作物的影响研究,其结果也基本能代表大兴安岭东部地区气候条件对玉米、大豆产量的影响情况,在分析近 30 a 气候变化的基础上,运用积分回归原理对这一地区玉米、大豆全生育期内气温和降水对产量影响的效应逐句进行系统分析,可为这一地区制定适宜的玉米、大豆种植栽培措施提供科学依据。

1 资料来源与研究方法

1.1 区域自然特征

内蒙古大兴安岭东部位于北纬 47.09°—49.81°,东经 120.48°—125.27°,属于中温带大陆性半湿润气候区,日照充足,雨量丰富,全年太阳辐射总量为 4 782.58~5 332.31 MJ/(m²·a),日照时数 2 530~2 875 h,无霜期 100~130 d,年平均降水量 400~500 mm。气候特点是春季升温迅速,干旱少雨;夏季温热多雨,但较短促;秋季降温急剧,霜早;冬季漫长寒冷^[8]。该地区是内蒙古东部主要农作区,是玉米、大豆生产基地之一,多年平均年种植面积玉米约 86 667 hm²,大豆约 200 000 hm²,总产量约玉米约 35 万 t,大豆约 28 万 t,所产高油大豆闻名全国。

1.2 资料来源

利用大兴安岭东部地区的扎兰屯市、阿荣旗和莫旗气象局 1984—2013 年作物生长季(5—9 月)气象资料及玉米、大豆生育期农业气象观测资料及统计局提供的产量数据,运用数理统计以及积分回归的方法,分析了大兴安岭东部地区近 30 a 作物生长季的温度、降水及日照时数变化规律,及对农作物生长和

产量的影响。

1.3 研究方法

气候变化趋势分析:采用气候倾向率和小波分析方法。气候倾向率采用一元线性回归方程拟合,方程形式:

$$y = ax + b \quad (1)$$

式中: a, b 为回归系数, a 的数值和符号反映 y 上升或下降的变化值,称之为变化率;小波分析采用有边界 Morlet 小波能量谱分析气象要素的周期变化特征^[9-10];

作物生长季(5—9 月)干燥指数(I_a)分析^[11]:

$$I_a = \frac{ET_0}{R} \quad (2)$$

式中: I_a 为地表干燥指数; R 为降水量(mm); ET_0 为最大可能蒸散量(mm),用彭曼公式计算^[12];

气象产量采用公式:

$$Y_c = Y - Y_t \quad [11-12] \quad (3)$$

式中: Y_c 表示作物气象产量; Y 表示作物实际产量; Y_t 表示作物趋势产量; Y_t 的计算采用逐步回归和正交多项式结合的方法;

气候因子对气象产量的影响分析:采用灰色关联度和多元回归相结合的方法,建立气象产量与气候因子的多元回归方程;

积分回归原理分析温度、降水对农作物产量的影响效应^[13]:数学模型:

$$Y_c = c + \sum_{i=1}^k \int_0^t \alpha_i(t) X_i(t) dt \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (4)$$

式中: Y_c 为用各时段气象要素估计的产量; k 为气象要素个数; $\alpha_i(t)$ 为 $t + \Delta t$ 时刻的第 i 个气象要素每变化一个单位时,对作物产量的影响效果; $X_i(t)$ 为 $t + \Delta t$ 时刻的第 i 个气象要素值; c 为常数项。在实际工作中, $\alpha_i(t)$ 的时间正交多项式函数展开式为:

$$\alpha_i(t) = \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} \varphi_j(t) \quad (i=1, 2, \dots, k \quad j=0, 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

式中: m 为展开项次; $\varphi_j(t)$ 为时间的正交多项式(查正交多项式表)。

则式(4)可写为:

$$\hat{Y}_c = c + \sum_{i=1}^k \int_0^t \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} \varphi_j(t) X_i(t) dt \quad (6)$$

令 $\int \varphi_j(t) X_i(t) dt = \rho_{ij}$, 则式(6)可写为:

$$\hat{Y}_c = c + \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^m \rho_{ij} \alpha_{ij}(t) \quad (7)$$

在实际工作中,计算 ρ_{ij} 的公式为:

$$\rho_{ij} = c + \sum_{t=1}^m \rho_j(t) X_i(t) \quad (t=1, 2, 3, \dots, n) \quad (8)$$

式中: n 为生物时段。

2 结果与分析

2.1 气候变化特征分析

2.1.1 气温变化趋势 由图1A可以看出,全球气候变暖背景下,大兴安岭东部地区1984—2013年作物生长季(5—9月)平均气温呈极显著上升趋势($R=0.7083^{**}$),气候倾向率为 $0.552^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,大于近50来全国的增温速度($0.0168^{\circ}\text{C}/\text{a}$)^[14-15];通过小波分析,绘制小波实部图,见图1B,该地区年平均气温的主要周期为3~7 a, 7~11 a和22~26 a,主要周期为

22~26 a经历过3次震荡,有增强趋势。

2.1.2 降水量变化趋势 由图2A可以看出,1984—2013年近30 a大兴安岭东部地区作物生长季(5—9月)降水量呈不显著下降趋势,气候倾向率为 $25.838\text{ mm}/10\text{a}$,从趋势曲线可以看出,岭东地区降水量在1998年达到峰值,之后下降趋势更为明显,但2010年后又呈明显上升趋势,说明该地区降水量变化较大的特点;小波分析实部图2B可见,该地区年降水量的主要周期为7~11 a和19~24 a,主要周期为19~24 a经历过4次震荡,有增强趋势。

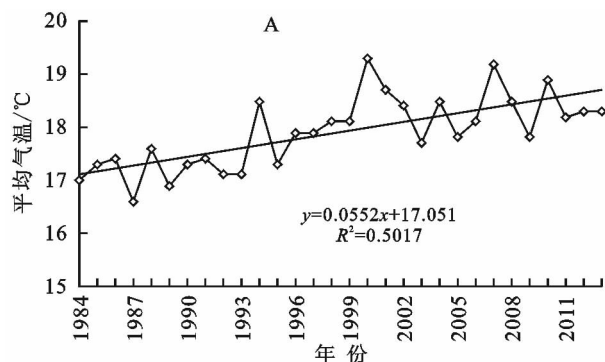


图1 大兴安岭东部生长季(5—9月)平均气温变化趋势及其小波变换

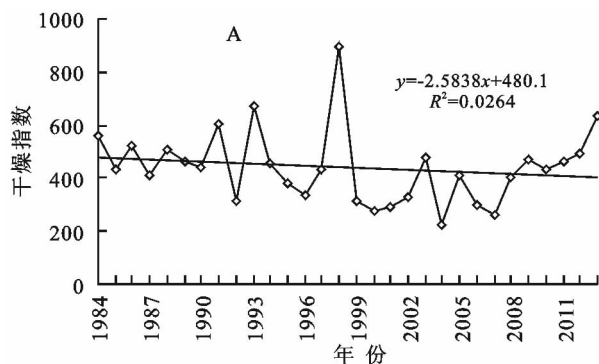
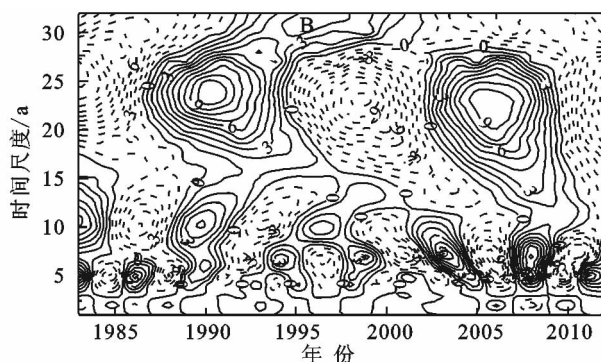
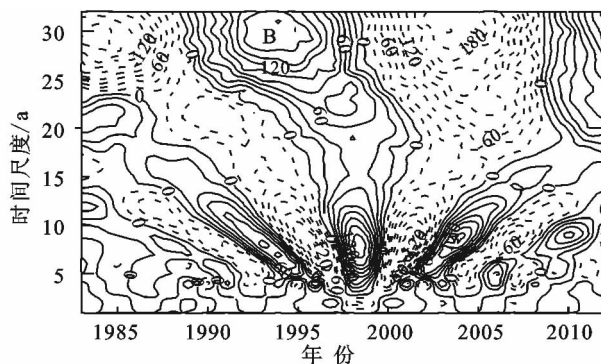


图2 大兴安岭东部生长季(5—9月)降水量变化趋势及其小波变换



2.1.3 作物生长季干燥指数变化趋势 由图3可见,大兴安岭地区近30 a作物生长季(5—9月)干燥指数呈现不显著上升趋势,气候倾向率为 $0.137/10\text{a}$;20世纪80—90年代,干燥指数年际间波动较小,且处于一个相对湿润期,进入21世纪干燥指数呈明显波动上升趋势,但近期又处于低值区,表明近期该地区气候相对湿润。

2.2 气候变化对作物生长发育及产量的影响

2.2.1 气候变化对作物发育期的影响 从播种—成熟,玉米和大豆全生育期间隔日数均呈逐年减小的趋势(图4),线性拟合倾向率分别为 $-0.424\text{ d}/10\text{a}$ 和 $-0.096\text{ d}/10\text{a}$,但均未通过显著性检验;两种作物全生育期间隔日数与全生育期日平均气温均呈不显著的负相关,即随着生育期气温的逐年升高,玉米、大豆全生育期间隔日数有缩短的趋势;但总体上,气候

变化对大兴安岭东部地区农作物全生育期间隔日数影响不显著,多年观测资料表明,农作物播种期和收获期相对稳定,玉米、大豆播种期多年平均值分别为5月17日和5月11日,收获期分别为9月18日和9月22日,且全生育期各发育阶段持续天数变化也不明显。

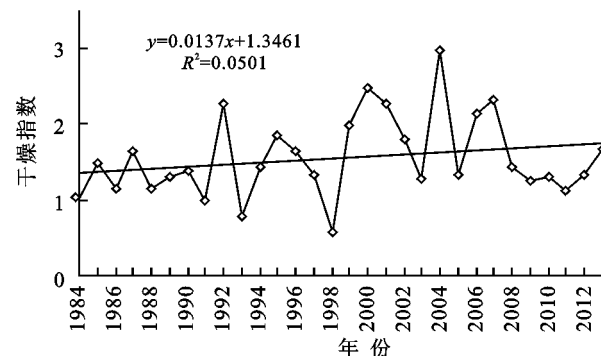


图3 大兴安岭东部作物生长季(5—9月)干燥指数变化趋势

2.2.2 气候变化对作物产量的影响 分析 1984—2013 年研究区域气候因子与玉米、大豆的气象产量,得出该区域玉米、大豆气象产量与气象因子的灰色关联系数及多元回归方程,见表 1—2。

影响玉米气象产量的主要气象因子的关联序为:大于 10℃活动积温>大于 2℃的无霜期>5—9 月降水量>7 月中旬平均气温>5—9 月平均气温,利用这 5 个因子建立的多元回归方程达 0.01 显著水平;影

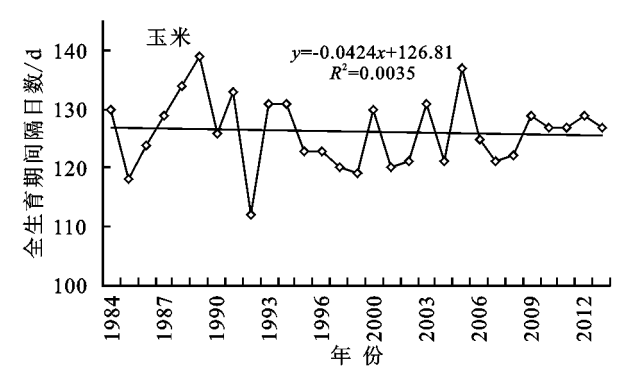


图 4 玉米、大豆全生育期间隔日数年际变化趋势

表 1 玉米气象产量与气象因子的灰色关联系数及多元回归方程

项目	5—9 月降水量 (X_1)	大于 10℃活动 积温(X_2)	大于 2℃的无霜期 (X_3)	7 月中旬平均 气温(X_4)	5—9 月平均 气温(X_5)
关联系数	0.6868	0.7584	0.7336	0.6755	0.6631
方程	$Y = -3415.0157 + 1.29X_1 + 0.59X_2 - 26.78X_3 + 209.26X_4 + 23.46X_5$				

表 2 大豆气象产量与气象因子的灰色关联系数及多元回归方程

项目	5—9 月 降水量(X_1)	大于 10℃ 活动积温(X_2)	大于 2℃的 无霜期(X_3)	大于 20℃ 活动积温(X_4)	日平均气温大于 20℃持续天数(X_5)
关联系数	0.6981	0.7988	0.7654	0.6776	0.6558
方程	$Y = 862.57 + 0.52X_1 - 0.12X_2 - 8.26X_3 + 1.92X_4 - 33.41X_5$				

2.2.3 积分回归气候模型的建立 利用积分回归原理,对大兴安岭东部地区玉米、大豆产量与该地区生长期内的日平均气温之间的关系逐旬进行定量分析。

将大豆、玉米全生育期间分为 15 个时段($n=15$),设温度、降水作为自变量 $x(k=1)$, $\alpha(x)$ 均取 5 次项($m=5$)。依照上述(4—8)式(4—8)有:

$$Y_c = c + \sum_{j=0}^4 \alpha_j(t) \int_0^t \varphi_j(t) X_{c,t} dt \quad (j=0,1,2,3,4,5) \quad (9)$$

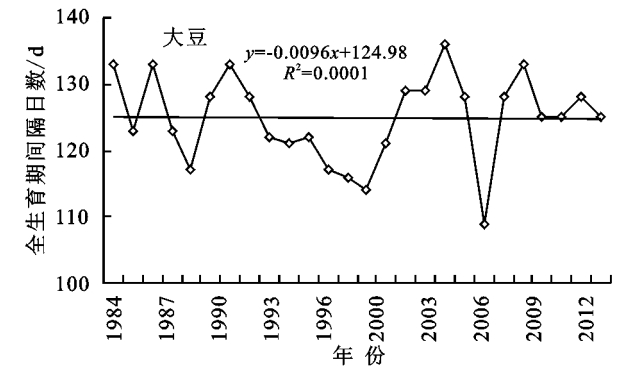
$$\int \varphi_j(t) X_{c,t} dt = \rho_j(X) \quad (j=0,1,2,3,4,5) \quad (10)$$

式中:正交系数: $\varphi_j(t)$ 查 $n=15$ 的正交多项式表。则式(8)写为:

$$Y_c = c + \sum_{j=0}^4 \alpha_j(t) \rho_j(X) \quad (j=0,1,2,3,4,5) \quad (11)$$

按式(8)计算历年温度、降水的 ρ_j 值,2 要素的 ρ_j 值统一编号,令 $\rho_0 \sim \rho_5$ 为温度项, $\rho_6 \sim \rho_{11}$ 为降水项,同时令 $Y_c = 12$,建立多元回归方程,得出温度、降水

响大豆气象产量的主要气象因子的关联序为:大于 10℃活动积温>大于 2℃的无霜期>5—9 月降水量>7 大于 20℃活动积温>日平均气温大于 20℃持续天数,利用这 5 个因子建立的多元回归方程达 0.05 显著水平;可见,研究区域大于 10℃活动积温、大于 2℃的无霜期和 5—9 月降水量是农作物产量的关键影响因子,对于雨养农业区生育期间的水热同步是农作物生育及产量形成的主要限制因子。

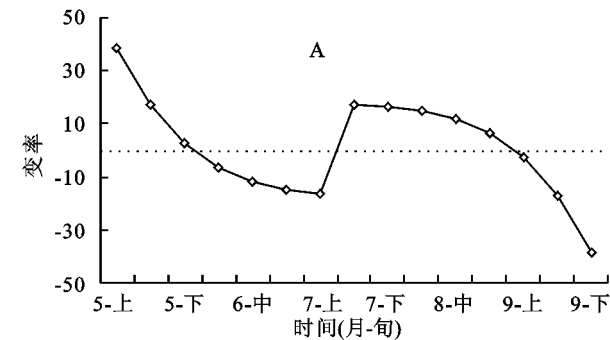


的时间分布对、玉米大豆产量的影响效果。玉米产量与四个自变量的回归方程为: $Y = -89.312 - 0.37\rho_2 - 0.005\rho_4 - 0.000\ 077\ 51\rho_{10} - 0.000\ 059\ 25\rho_{11}$ ($R=0.625, 0.01$ 显著水平),对玉米产量有显著影响的是温度的 2 次项和 4 次项,降水的 10 次项和 11 次项,它们的综合作用构成玉米的产量预报方程;大豆产量与 4 个自变量的回归方程为: $Y = -394.410 - 0.158\rho_2 - 0.012\ 8\rho_4 - 0.008\rho_8 + 0.001\rho_9$ ($R=0.429, 0.05$ 显著水平),对大豆产量有显著影响的是温度的 2 次项和 4 次项,降水的 8 次项和 9 次项,它们的综合作用构成大豆的产量预报方程。

根据以上玉米、大豆产量预报方程可得温度、降水对玉米、大豆产量的影响变率 $a(t)$ 值,得出气温、降水对玉米、大豆产量的影响变率 $a_T(t)$ 曲线和 $a_R(t)$ 曲线。

(1) 温度变化对作物产量的影响。分析 $a_T(t)$ 温度曲线图 5A 可知,按历年平均发育期,玉米播种一出苗(5 月中下旬)温度对其生长发育为正效应, $a_T(t)$ 值

为 $2.69 \sim 38.68 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 在一定温度范围内, 玉米播种到出苗的间隔时间随着温度的升高, 出苗速度加快, 出苗时间缩短, 若温度持续偏低则会延迟种子发芽出苗, 造成粉种现象, 影响产量; 营养生长期, 即三叶—拔节(6 月上旬—7 月上旬)阶段, 在一定温度范围内, 温度越高, 生长越快, 缩短玉米营养生长期, 发育期提前, 此期温度对玉米生长发育为明显的负效应, $a_T(t)$ 值为 $-16.51 \sim -6.48 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 说明此期热量有盈余, 温度过高, 生长过快, 植株瘦弱, 将会造成植株后期生长不良, 影响产量; 进入生殖生长阶段, 抽



雄—乳熟(7 月下旬—8 月下旬), 温度对玉米生长发育均为正效应, $a_T(t)$ 值 $6.48 \sim 16.94 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 温度对玉米开花、吐丝影响较大, 是玉米一生中要求温度较高的时期, 此期适当高温, 有利于玉米旺盛生长和雄穗的正常分化, 形成壮秆大穗, 是高产的基础; 玉米进入乳熟—成熟阶段(8 月下旬—9 月下旬), 温度对玉米生长发育为负效应, $a_T(t)$ 值为 $-38.68 \sim -2.69 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 可能是由于此期温度过高, 不利于养分向子粒运输和积累, 导致子粒灌浆不良, 出现瘪粒, 甚至出现高温逼熟造成减产。

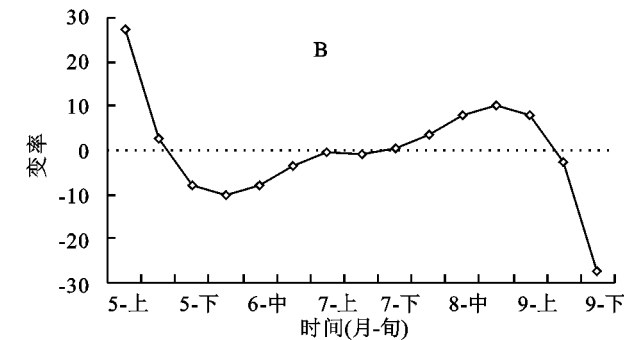
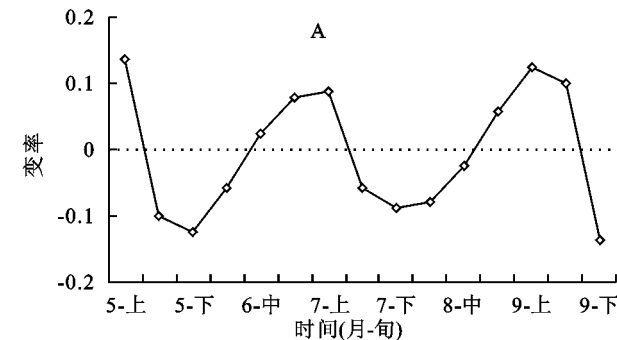


图 5 温度对玉米、大豆产量的影响效应

分析 $a_T(t)$ 温度曲线图 5B 可知, 按历年平均发育期, 大豆播种—出苗—分枝(5 月中下旬—7 月上旬)温度对其生长发育以负效应为主, $a_T(t)$ 值为 $-0.43 \sim -10.28 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 此期温度不宜过高; 营养生长后期和生殖生长时期, 即分枝—开花—结荚—鼓粒(7 月中旬—9 月上旬)阶段, 温度对大豆生



长发育均为明显的正效应, $a_T(t)$ 值为 $0.43 \sim 10.28 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 此期热量不足对产量影响较大; 鼓粒后期—成熟(9 月中下旬), 温度对其生长发育为负效应, $a_T(t)$ 值为 $-2.72 \sim -27.19 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 此期高温对干物质积累不利, 会造成减产, 但温度应在适宜指标范围之内。

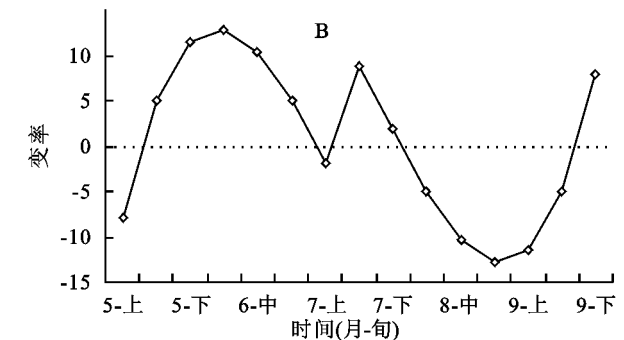


图 6 降水对玉米、大豆产量的影响效应

(2) 降水量变化对作物产量的影响。分析 $a_R(t)$ 降水曲线图 6A 可知, 降水量对玉米生长发育的影响远远小于温度的影响, $a_R(t)$ 值范围在 $\pm 0.03 \sim \pm 0.14 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。玉米苗期, 出苗—三叶(5 月中旬—6 月上旬)降水对其生长发育为负效应, $a_R(t)$ 值为 $-0.13 \sim -0.06 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, 说明苗期适当干旱有利于玉米根系生长, 该期降水量完全可以满足玉米苗期对水分的要求; 三叶—拔节(6 月中旬—7 月上旬), 降水对玉米生长发育为正效应, $a_R(t)$ 值为 $0.03 \sim 0.09 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, 此期雨季尚未来临, 是大兴安岭东部地区较为干旱的季节, 干旱会

影响玉米生长发育, 延缓玉米发育期, 对产量形成不利, 此期抗旱保墒应是玉米栽培中的首要农业措施; 抽雄—吐丝(7 月中旬—8 月中旬), 降水对玉米生长发育为不明显的负效应, $a_R(t)$ 值为 $-0.09 \sim -0.03 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, 此期是玉米一生需水量最多的时期, 为玉米的需水临界期, 此期正值降雨集中季节, 完全可以满足玉米生殖生长的需要, 良好的雨热匹配是该地区玉米持续高产的重要原因; 玉米进入灌浆—乳熟期后(8 月下旬—9 月下旬)降水对其生长发育以正效应为主, $a_R(t)$ 值为 $0.06 \sim 0.13 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, 此期已进入秋季雨水偏少阶段, 应适时灌水, 防止叶

片早衰,提高光合强度,减少败育粒,提高产量。

分析 $a_R(t)$ 降水曲线图 6B 可知,大豆播种—开花(5月中旬—7月下旬)降水对其生长发育以正效应为主, $a_R(t)$ 值为 $1.79 \sim 12.89 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,且5月中旬—6月中旬正效应最大,表明大豆幼苗期干旱对产量影响最大,苗期充足的水分供应是高产的基础;大豆结荚后至成熟初期(8月上旬—9月中旬),降水对其生长发育为负效应, $a_R(t)$ 值为 $-12.89 \sim -5.00 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,降水过多,会造成落花落荚,造成减产;成熟中后期降水对其生长发育为正效应, $a_R(t)$ 值为 $7.83 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,水分不足会使单株秕荚数大大增加,影响产量。

3 讨论

(1) 气候变暖背景下,大兴安岭东部地区热量条件能充分满足玉米、大豆生长发育的需求,且在玉米三叶—拔节、乳熟—成熟阶段,大豆播种—出苗—分枝、鼓粒后期—成熟阶段表现为负效应,这与以往的一些研究结果“温度对玉米各阶段生长发育的影响呈显著的线性关系,温度升高利于玉米生长发育”不太一致,并非温度升高利于喜温作物各个发育阶段的生长,个别发育阶段也表现负效应。大兴安岭地区气候冷凉,玉米、大豆种植均以早熟或极早熟品种为主,对热量要求不高,特别是苗期和成熟期适当低温可以延长营养生长时间和灌浆时间,形成壮苗,灌浆充分,籽粒饱满。本文得出的结论体现出气候冷凉地区种植喜温作物,温度在不同生育阶段对产量影响的独特效应,在以往的研究中较为少见。

(2) 大兴安岭东部地区气候变化对玉米、大豆的生育期间隔日数变化影响不大,这一结果与张洁等^[16]的研究结果“气候变暖使玉米播种期提前,玉米的生育期延长”不同。分析主要有两方面原因:其一,栽培品种的不断更换,一些研究表明“当品种不断更替时,玉米的产量潜力呈上升的趋势,新玉米品种从开花到成熟生育阶段天数延长,成熟期生物量和收获指数增大有利于产量的提高”。因此,由于高产优质品种的不断育成,品种更替日益频繁,由此带来对农业气象观测的不利影响,造成农作物生育期间隔日数的不确定,使本文的研究结果欠妥,今后需在了解具体品种更换年份、品种特点等基础上进行深入研究;其二,传统的栽培方式导致种植部门保持相对统一的播期和收获期,以避免该区域频发的春旱和早晚霜对作物的不利影响,降低对由于早播和晚收造成减产的风险,因此也会影响生育期观测的准确性,因此,本文对气候变化对作物生育期的影响方面,有待于进一步细化研究。

4 结论

(1) 大兴安岭东部地区近 30 a 作物生长季平均气温呈极显著上升趋势,气候倾向率为 $0.552^\circ\text{C}/10 \text{ a}$;主要周期为 $22 \sim 26 \text{ a}$ 经历过 3 次震荡,有增强趋势。

(2) 生长季降水量总体呈下降趋势,气候倾向率为 $25.838 \text{ mm}/10 \text{ a}$;主要周期为 $19 \sim 24 \text{ a}$ 经历过 4 次震荡,有增强趋势;作物生长季(5—8月)干燥指数总体呈现上升趋势,气候倾向率为 $0.137/10 \text{ a}$,近期处于低值区,气候相对湿润。

(3) 气候变化对大兴安岭东部地区农作物全生育期间隔日数影响不明显,多年观测资料表明,农作物播种期和收获期相对稳定,且全生育期各发育阶段持续天数变化也不明显。

(4) 灰色关联及多元回归分析结果表明,研究区域大于 10°C 活动积温、大于 2°C 的无霜期和 5—9 月降水量是农作物产量的关键影响因子,对于雨养农业区生育期间的水热同步是农作物生育及产量形成的主要限制因子

(5) 温度和降水对不同农作物生长和产量的影响效应不同,对同一种作物不同阶段的生长发育影响效应亦不同。分析表明:温度对玉米播种—出苗、抽雄—乳熟阶段生长发育的影响为正效应,对三叶—拔节、乳熟—成熟阶段为负效应;温度对大豆播种—出苗—分枝、鼓粒后期—成熟阶段生长发育的影响为负效应,对分枝—开花—结荚—鼓粒阶段均为正效应。降水对玉米生长发育的影响远远小于温度的影响,对玉米出苗—三叶、抽雄—吐丝阶段生长发育的影响为负效应,对三叶—拔节及乳熟阶段生长发育的影响为正效应;降水对大豆播种—开花和成熟中后期的影响为正效应,大豆结荚后至成熟初期,降水对其生长发育为负效应。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 姚玉璧,王润元,赵鸿,等. 甘肃黄土高原不同海拔气候变化对马铃薯生育脆弱性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(2):52-58.
- [3] 杜雄,边秀举,刘梦星,等. 磷素营养对青饲玉米产量品质形成与肥水利用效果的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):484-489.
- [4] 杜雄,张立峰,李会彬,等. 钾素营养对饲用玉米养分吸收动态及产量品质形成的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(3):393-397.

- [4] 刘纪远,布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究:基于卫星遥感数据[J]. 第四纪研究,2000,20(3):229-239.
- [5] 刘纪远,张增祥,庄大方,等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究,2003,22(1):1-12.
- [6] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. Study on spatial pattern of land use change in China during 1995—2000 [J]. Science in China,2003,48(4):373-384.
- [7] 赵坚,曹春香,贾慧聪,等. 干旱区土地利用/覆盖时空动态变化分析:以准格尔旗为例[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(8):93-96.
- [8] 吕静,常庆瑞. 黄土高原土石山区土地利用空间分布研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(8):93-96.
- [9] 崔卫国,文倩,刘艳艳,等. 基于DEM的醴陵市土地利用空格局分析[J]. 资源科学,2008,30(2):228-234.
- [10] 崔步礼,李小雁,姜广辉,等. 基于DEM的山地丘陵区土地利用/覆被研究:以青海湖流域为例[J]. 自然资源学报,2011,26(5):871-880.
- [11] 邹敏,吴泉源,逢杰武. 基于DEM的龙口市土地利用空间格局与时空变化研究[J]. 测绘科学,2007,32(6):174-175.
- [12] 汤国安,宋佳. 基于DEM坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):157-162.
- [13] 马士彬,张勇荣,安裕伦. 山区城市土地利用动态空间分布特征:以贵州省六盘水市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(3):489-496.
- [14] 吴学伟,龚文峰,袁力. 基于DEM黑龙省土地利用定量分析[J]. 东北林业大学学报,2009,37(9):74-75.
- [15] 李增加,马友鑫,李红梅,等. 西双版纳土地利用/覆被变化与地形的关系[J]. 植物生态学报,2008,32(5):1091-1103.
- [16] 崔步礼,李小雁,姜广辉,等. 基于DEM的山地丘陵区土地利用覆被研究:以青海湖流域为例[J]. 自然资源学报,2011,26(5):871-880.
- [17] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其地形因子的关系[J]. 自然资源学报,2003,18(1):20-29.
- [18] 陈楠,杨武年,李娟,等. 巴中市丘陵山区土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 水土保持通报,2012,32(1):185-188.
- [19] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [20] 范红霞. 纸坊沟流域景观格局动态及地形分异研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [21] 井学辉. 新疆额尔齐斯河流域植被景观格局与生物多样性空间变化规律研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2008.
- [22] 喻红,曾辉,江子瀛,等. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. 地理科学,2001,21(2):64-69.
- [23] 李升发,董玉祥. 广州市土地利用垂直分层模式及其演变过程[J]. 自然资源学报,2013,28(6):1019-1029.

~~~~~

(上接第330页)

- [5] IPCC. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2012.
- [6] IPCC. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report [M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2007.
- [7] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [8] 王希平,赵慧颖. 呼伦贝尔市林牧农业气候资源与区划 [M]. 北京:气象出版社,2006.
- [9] 池再香,莫建国,康学良,等. 基于GIS的贵州西部春薯种植气候适宜性精细化区划[J]. 中国农业气象,2012,33(1):93-97.
- [10] 池再香,杜正静,杨再禹,等. 贵州西部马铃薯生育期气候因子变化规律及其影响分析[J]. 中国农业气象,2012,33(3):417-423.
- [11] 姚玉璧,王润元,杨金虎,等. 黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 生态学报,2012,33(3):417-423.
- [12] 毛飞,张光智,许祥德. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较[J]. 应用气象学报,2000,11(Z):119-124.
- [13] 姚玉璧,王瑞君,王润元,等. 黄土高原半湿润区玉米生长发育及产量形成对气候变化的响应[J]. 资源科学,2013,35(11):2273-2280.
- [14] 侯琼,乌兰巴特尔. 内蒙古典型草原区近40a气候变化及其对土壤水分的影响[J]. 气象科技,2006,34(1):102-106.
- [15] 王绍武,叶瑾林. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学,1995,19(5):545-553.
- [16] 张洁,白青华,马鸿勇. 气候变化对河西走廊中部地区主要农作物的影响[J]. 干旱气象,2013,31(2):303-308.