

气候变暖对阿勒泰地区春玉米播种期和种植布局的影响

王荣晓¹,徐文修²,只娟¹,田彦军²

(1.新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830052;
2.新疆农业大学农学院,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:采用阿勒泰地区 7 个气象站 1961—2010 年逐日平均气温资料,使用线性趋势分析、累积距平、*t* 检验并基于 Kriging 插值法,分析近 50 年日平均气温稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的初日、终日、持续日数和积温的时空变化特征,揭示春玉米播种期及种植布局的变化规律。结果表明,阿勒泰地区近 50 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈现初日提前、终日推迟、持续日数延长、积温增加的现象,其倾向率分别为 0.3 、 1.3 、 $1.6\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $57.1^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,且突变年份均发生在 20 世纪 90 年代中期。各县市春玉米播种期提前 $3\sim 8\text{ d}$,生长季延长 $6\sim 11\text{ d}$ 。突变前青河东部不能种植春玉米,晚熟品种不能种植或种植风险较大。随着气候不断变暖,春玉米不同熟性品种可种植区逐渐东扩,各县市春玉米在品种熟性上均发生了改变,表现为由不能种植到种植早熟、早熟向中(晚)熟、中晚熟向晚熟品种的变化。

关键词: 气候变暖;阿勒泰地区;春玉米;播种期;种植布局
中图分类号: S162.5 **文献标志码:** A

Influence of climate warming on seeding time and cultivation pattern of spring maize in Altai region

WANG Rong-xiao¹, XU Wen-xiu², ZHI Juan¹, TIAN Yan-jun²

(1. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
2. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: To reveal the rules of changes in seeding time and planting pattern of spring maize, based on the daily temperature data of 7 meteorological stations in Altai region during 1961—2010, the spatiotemporal changes of the first date, final date, duration, and accumulated temperature were analyzed when the temperature reached 10°C or higher, using the methods of linear regression, accumulative anomaly, T-test and Kriging based mixed interpolation. The results showed that accumulated temperature, duration, first date, and final date, all showed a significant increasing tendency in recent 50 years, with the rates of $57.1^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$, $1.6\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$, $1.3\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$, $0.3\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$, respectively. All changes took place in mid 90 s. Climate warming resulted in $3\sim 8$ day advance of seeding time and $6\sim 11$ day delay of the growth of spring maize. Before the climate change, east Qinghe region was not suitable for the cultivation of spring corn, nor the late maturing cultivars due to the incapability or the high risks in planting. With the climate warming, planting areas for different varieties of spring corn gradually expanded eastward, and the cultivar maturities in different counties and cities showed variations. The results showed that regions that were not suitable for planting now were capable of planting early mature cultivars, regions that were planted with early mature cultivars were good for mid-season/late mature ones, and regions that used to have mid-season/late mature varieties were now to have planted with late varieties.

Keywords: climate warming; Altai region; spring maize; seeding time; cultivation pattern

根据 IPCC(联合国政府间气候变化专业委员会)第四次评估报告显示,近百年来全球平均温度升高了 $0.74\pm 0.18^{\circ}\text{C}$,且北半球高纬度地区温度升幅较大^[1],全球气候变暖已成为一个不争的事实。国内

收稿日期:2014-01-27
基金项目:国家自然科学基金资助项目(31260312);农业部公益性行业专项(201103001)
作者简介:王荣晓(1989—),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为农业生态。E-mail: wangrongxiao2491@163.com。
通信作者:徐文修(1962—),教授,博士,博士生导师,研究方向为耕作制度与农业生态。E-mail: xjwxw@sina.com。

研究表明,中国年均温度增幅为 $0.78 \pm 0.27^{\circ}\text{C}$,略高于全球同期平均值^[2]。气候变暖具有较明显的区域差异性,北方增温大于南方^[3]。中国内陆热带地区、华南地区、黄淮海平原和西北地区等地气温均呈显著升高的趋势^[4-6]。新疆呈现出与全球一致的变暖趋势^[7],气温上升总体呈现“北疆大,南疆小”的格局^[8]。气候变暖必将改变热量资源的时空分布,使农作物种植制度和作物布局发生改变^[9-10]。前人就气候变暖对我国农作物播种期^[11-16]、种植布局^[17-18]、产量^[19-20]、品质^[21]、病虫害^[22]等方面的影响做了诸多研究,其中针对播种期和种植布局的研究表明,随着气候变暖,使我国河南、鲁西南、江苏、山西、新疆等地喜凉作物冬小麦播种期逐渐推迟,种植北界逐渐北移。此外, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的增加,喜温作物春玉米播种期提前,不同品种的种植界限不断北移东扩,玉米品种熟型由早熟型向晚熟型过渡。

阿勒泰地区位于新疆最北部,近年诸多学者的研究仅限于对农业气候资源变化规律的研究^[23-24],而由此导致作物播种期和种植布局变化方面的研究还未见报道。春玉米作为阿勒泰地区主要的粮食作物,播种面积占粮食作物总面积的31.3%^[25],气候变暖对其的影响直接影响到该区粮食生产安全。为此,本研究基于1961—2010年阿勒泰地区7个气象站的逐日气象资料,系统分析热量资源变化规律,揭示春玉米播种期及种植布局的变化特征,为气候变暖影响下阿勒泰地区玉米生产和合理布局提供科学依据。

1 研究区概况

阿勒泰地区位于新疆维吾尔自治区的北部,受北冰洋冷气团控制冬季漫长,夏季温湿气团活跃短暂。再加上地形复杂,高差悬殊,地面性状差异等原因,从而形成了春旱多风、夏短少炎、秋高气爽、冬寒漫长和多大风的气候特点。该区是典型的灌溉农业,主要种植早中熟玉米、春小麦、大豆、油葵、甜菜等对热量要求不高的农作物。全区有可耕地10.67万 hm^2 ,粮食作物占5.81万 hm^2 ,其中春玉米播种面积为1.82万 hm^2 ,另外,四季草场为1.48万 hm^2 。

2 资料与方法

2.1 研究资料及站点

采用阿勒泰地区1961—2010年各气象站 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初终日、持续日数、积温资料以及各站的经度和纬度等地理要素资料,数据均来自新疆维吾尔自治区气象局,研究区域和站点分布见图1。

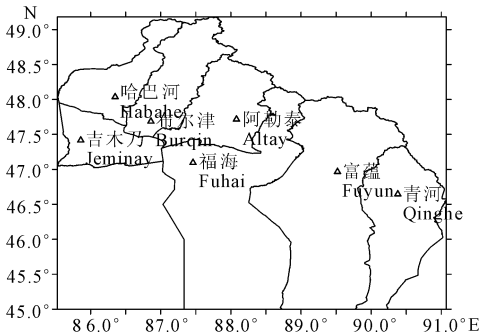


图1 研究区域和站点分布

Fig.1 Distribution of 7 meteorological stations in Altai region

2.2 研究方法

2.2.1 气候倾向率^[26] 采用线性趋势分析来表示气象要素的时间变化特征,方程为:

$$y(t) = at + b \tag{1}$$

其中, t 为年序, a 、 b 为经验常数,可通过最小二乘法计算求得,其中 $a \times 10a$ 作为气候倾向率。 a 绝对值的大小可以度量其演变程度, $a < 0$ 表示在计算时段内呈下降的趋势, $a > 0$ 表示呈上升的趋势。

2.2.2 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日、终日、持续日数和积温的突变分析方法^[26] 采用累积距平以及 t 检验,对1961—2010年各气象要素的突变特征进行分析和检测。

2.2.3 空间数据的插值方法 采用Kriging法^[27]对阿勒泰地区7个县市各气象要素进行空间模拟,Kriging法对于未观测点处的估值较普通平均法的估值精度高,并且避免了系统误差,因此是一个从二维平面上描述气象要素空间分布特征的有效工具被广泛使用。

2.3 玉米品种熟性划分

根据龚绍先等^[28]和《中国农业气象学》^[29]中玉米不同熟性所需积温的指标,将玉米品种熟性划分为早熟、中熟、中晚熟和晚熟4种类型(表1)。

表1 不同熟性玉米所需积温/ $^{\circ}\text{C}$

Table 1 Accumulated temperature of different maturity maize

品种熟性 Varietal maturity	不可种植区 Unsuitable region	早熟 Early variety	中熟 Midseason variety	中晚熟 Middle-late variety	晚熟 Late variety
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulative temperature	< 2100	2100 ~ 2400	2400 ~ 2700	2700 ~ 3000	≥ 3000

3 结果与分析

3.1 ≥10℃初终日、积温及持续日数变化趋势及突变特征

3.1.1 ≥10℃初日 1961—2010 年阿勒泰地区 ≥10℃初日总体以 0.3 d·10a⁻¹的倾向率呈提早趋势(表 2),50 年来提早了 1.5 d。由 1961—2010 年阿勒泰地区 ≥10℃初日序列的累积距平可以看出(图 2a),1996 年出现了累积距平的最大值,对 ≥10℃初

日进行 *t* 检验,结果表明(表 2), $|t_0| = 3.3602$ 通过了 $\alpha = 0.01$ 的信度水平检验,这说明近 50 年阿勒泰地区 ≥10℃初日于 1996 年发生了突变性的提前,突变后较突变前平均提前了 5 d,而且阿勒泰各县市突变后较突变前提前天数也各不相同(表 3),其中哈巴河县 ≥10℃初日提前最多,为 8 d,阿勒泰市最少,为 3 d。哈巴河县春玉米播种面积占全区的 38%, ≥10℃初日提前对该县春玉米播种期有较大的影响。

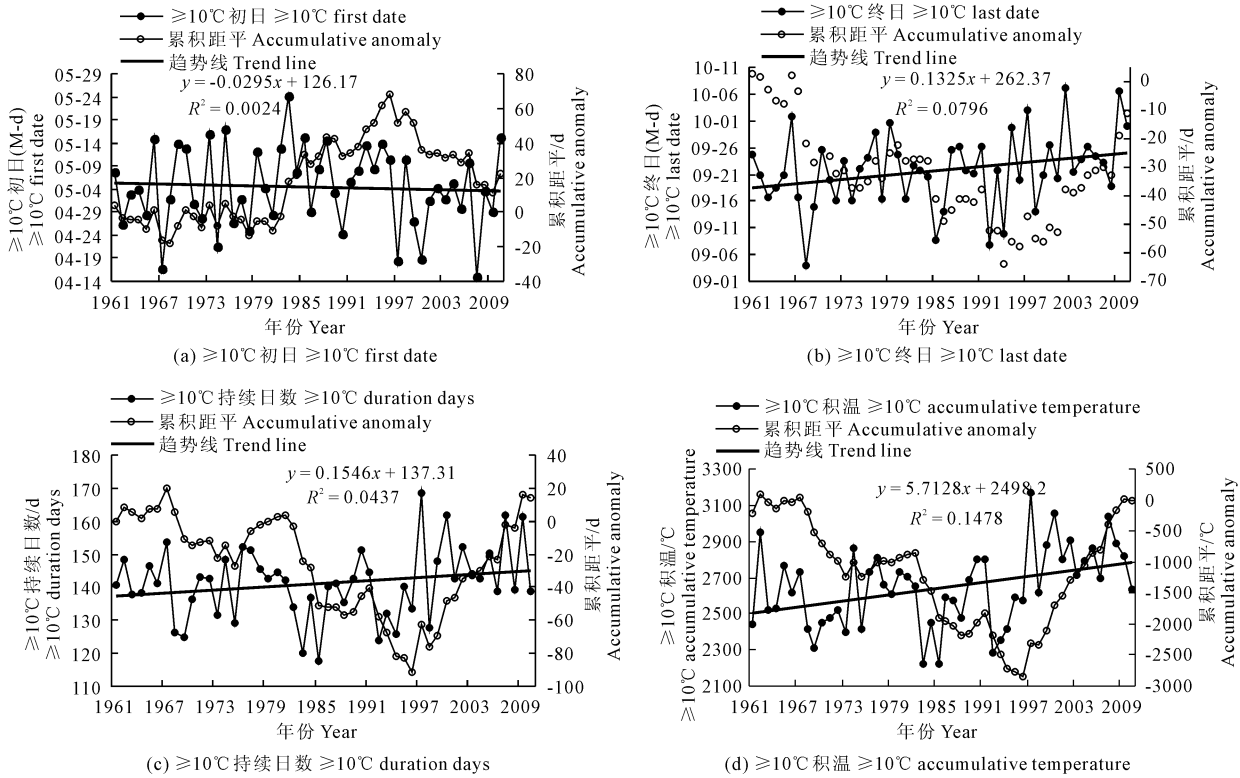


图 2 近 50 年阿勒泰地区 ≥10℃初日、终日、持续日数和积温及其累积距平变化

Fig.2 Changes of the first date, final date, duration, and accumulated temperature when temperature reached 10℃ and higher, and their cumulative anomalies in Altai region from 1961 to 2010

3.1.2 ≥10℃终日 阿勒泰地区 1961—2010 年 ≥10℃终日总体以 1.3 d·10a⁻¹的倾向率呈推迟趋势(表 2),50 年来阿勒泰地区 ≥10℃终日平均推迟了 6.5 d。由图 2b 可知,近 50 年来 ≥10℃终日在 1994 年出现了累积距平的最小值,经 *t* 检验结果表明(表 2), $|t_0| = 2.7853$ ($\alpha = 0.01$)。这说明近 50 年阿勒泰地区 ≥10℃终日于 1994 年发生了突变性的推迟,突变后较突变前平均推迟了 5 d,阿勒泰地区各县市突变后较突变前推迟天数不同(表 3),推迟幅度在 4~6 d 之间,其中吉木乃县、富蕴县、青河县推迟 6 d,福海县推迟 4 d,其它地区推迟 5 d。

3.1.3 ≥10℃持续日数 由于受 ≥10℃初日提前、终日推迟的共同影响,近 50 年阿勒泰地区 ≥10℃的

持续日数以 1.6 d·10a⁻¹的倾向率呈延长趋势(表 2),50 年来延长了 8 d。由近 50 年阿勒泰地区 ≥10℃持续日数序列的累积距平可知(图 2c),1996 年出现了累积距平的最小值,进一步 *t* 检验表明(表 2),近 50 年阿勒泰地区 ≥10℃持续日数于 1994 年发生了突变性的延长, $|t_0| = 2.1621$ ($\alpha = 0.05$),由表 3 可知,突变后较突变前 ≥10℃持续日数平均延长了 8 d,各县市突变后较突变前 ≥10℃持续日数也呈不同程度的延长,其幅度在 6~11 d 之间,其中哈巴河县、福海县为 11 d,布尔津县为 10 d,青河、吉木乃县为 6 d。 ≥10℃持续日数的延长无疑有利于阿勒泰地区牧草及春玉米生长季的延长,生长季的延长使春玉米的品种熟性有更多的选择,从而挖掘品

种的内在增产潜力,进而促进其生长和产量的提高。

表 2 阿勒泰地区≥10℃初日、终日、持续日数、积温趋势分析及突变点信度检验

Table 2 *T*-test results of abrupt changes of the first date, final date, duration and accumulated temperature when temperature reached 10℃ and higher in Altai region from 1961 to 2010

气象要素 Meteorological elements	倾向率 Tendency rate	检测点 Check point	<i>n</i> ₁	<i>n</i> ₂	$ t_0 $
≥10℃初日 ≥10℃ first date	0.295	1996	36	14	3.3602 ^{**}
≥10℃终日 ≥10℃ last date	1.325	1994	34	16	2.7853 ^{**}
≥10℃持续日数 ≥10℃duration days	1.546	1994	34	16	2.1621 [*]
≥10℃积温 ≥10℃accumulative temperature	57.128	1996	36	14	3.2923 ^{**}

注:“^{**}”和“^{*}”分别表示通过 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。
Note: “^{**}” changes in the year at the significance level of 0.01 ; “^{*}” changes in the year at the significance level of 0.05.

表 3 阿勒泰地区及各县市≥10℃初日、终日、持续日数和积温的突变前、后差值

Table 3 Spatial distribution of the changes of the first date, final date, duration and accumulated temperature when temperature reached 10℃ and higher in Altai region in recent 50 years

地区 Region	初日/d First date	终日/d Last date	持续日数/d Duration days	积温/℃ Accumulative temperature
哈巴河 Habahe	- 8	5	11	303.8
吉木乃 Jeminay	- 4	6	6	287.8
布尔津 Burqin	- 4	5	10	257.9
福海 Fuhai	- 5	4	11	283.1
阿勒泰市 Altay City	- 3	5	7	176.8
富蕴 Fuyun	- 5	6	8	351.2
青河 Qinghe	- 4	6	6	311.3
全区平均值 Average	- 5	5	8	281.7

3.1.4 ≥10℃的积温 近 50 年阿勒泰地区≥10℃积温以 57.1℃·10a⁻¹的倾向率呈增多趋势(表 2), 50 年来增多了 285.5℃,平均增加至 2 814.2℃。由图 2d 看出,1961—2010 年阿勒泰地区≥10℃积温在 1996 年出现了累积距平的最小值,对≥10℃积温进行 *t* 检验,结果表明(表 2), $|t_0|=3.2923$ ($\alpha=0.01$)。这说明近 50 年阿勒泰地区≥10℃积温于 1996 年发生了突变性的增多。突变后较突变前阿勒泰地区≥10℃积温平均增多了 281.7℃,各县市≥10℃积温增加值各不相同,积温增加幅度在 176.8℃~351.2℃之间,表 3 可知,富蕴县、青河县、哈巴河县增加量在 300℃以上,分别达 2 972.0℃、2 314.3℃、2 991.4℃,表明原本气候冷凉的青河县、富蕴县气温变暖的趋势更加明显;其次为吉木乃县、福海县、布尔津县增加量均在 250℃·d 以上,积温分别增加至 2 508.5℃、3 186.9℃、3 050.5℃;阿勒泰市增加至 2 903.3℃。

3.2 气候变暖对阿勒泰地区玉米播种期与种植布局的影响

3.2.1 气候变暖对玉米播种期的影响 一般气温稳定在 10℃~12℃时春玉米即可播种,因此我们将

≥10℃初日确定为春玉米开始播种日期^[30],由于日期不易计算,日序列 1 月 1 日为 1,以此类推,12 月 31 日为 365。对 50 年来阿勒泰地区≥10℃初日的研究可知,阿勒泰地区突变后较突变前玉米播种期平均提前了 5 d,但各县市播种期提前天数不同。由图 3a 可以看出,突变前最早播种期出现在 5 月 1 日(日序所画出的等值线为 122),而且仅出现在布尔津县东南-阿勒泰市西南部-福海县北部的少部分地区。5 月 1 日—5 月 5 日(等值线为 122~126)可以开始播种的地区在布尔津县-阿勒泰市-福海县北部地区-富蕴县西部部分地区。然而,随着气候逐渐变暖到突变后(图 3b)时,5 月 1 日(等值线为 122)可以开始播种的地区延伸至整个布尔津县、阿勒泰市以及吉木乃东部-福海北部-富蕴西部-哈巴河大部分地区,并且布尔津县西北部和福海县北部的少部分地区播种日期已经提前至 4 月 26 日(等值线为 117)。5 月 1 日—5 月 5 日可以开始播种的地区在突变前的基础上延伸至整个哈巴河县、福海县以及富蕴大部分地区(图 3b)。突变后中青河县可以开始播种日期较突变前(5 月 9 日—5 月 15 日,等值线 130~136)提前了 4 d。吉木乃县可以开始播

种日期较突变前(5 月 3 日—5 月 14 日,等值线 124 ~ 135)提前 4 ~ 5 d,充分说明阿勒泰气候变暖对当

地玉米的播期产生了一定影响。

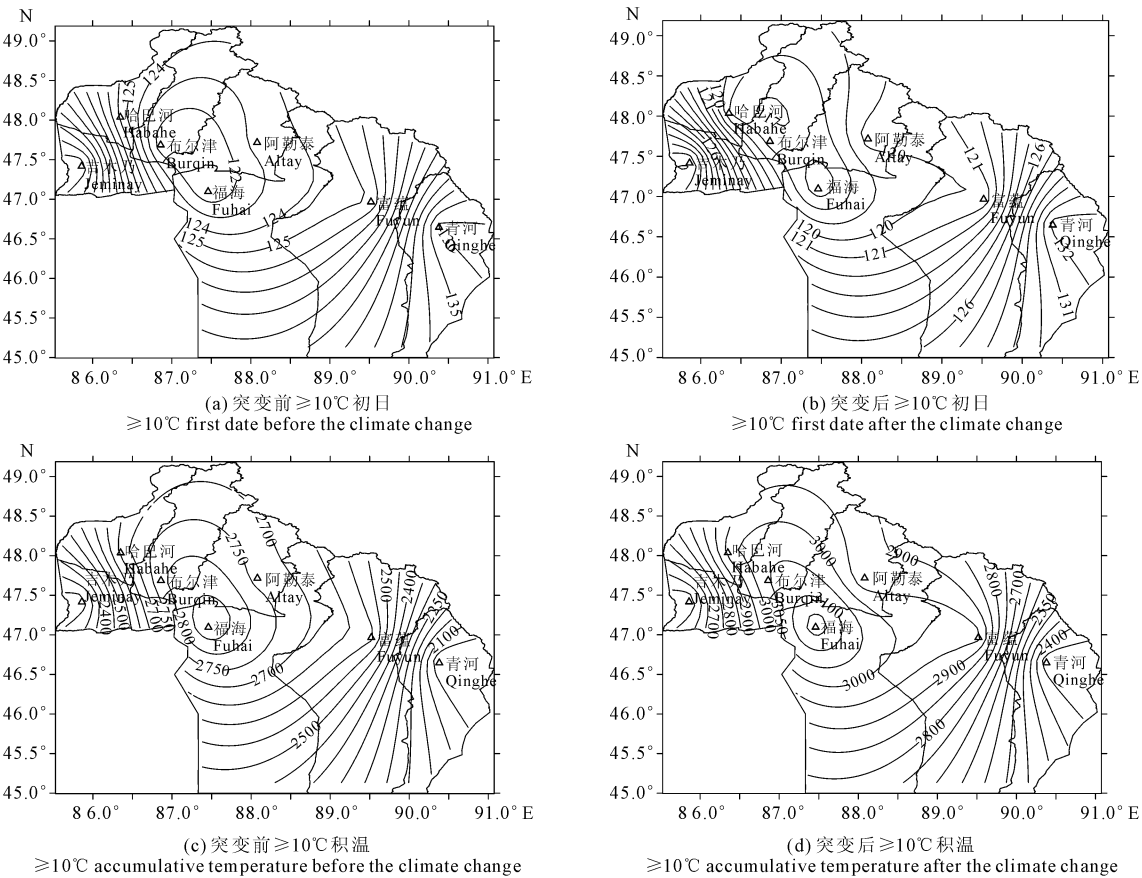


图 3 阿勒泰地区突变年前、后 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日、积温的空间分布

Fig.3 Spatial distributions of the changes in the first date and accumulated temperature when temperature reached 10°C and higher in Altai region in recent 50 years

3.2.2 气候变暖对玉米种植布局的影响 50 年来阿勒泰地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日提前、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日推迟导致持续日数延长,而 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续日数的延长意味着喜温作物玉米生长季的延长,较长的生长季为选择更多玉米品种熟性种植提供了可能,而不同熟性玉米品种对 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的要求不同(表 1)。分析比较阿勒泰地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温突变年前后的变化可知(图 3c,3d),各市县突变后积温等值线除阿勒泰市以外基本上均比突变前增加了 300°C 左右,从而使阿勒泰地区各县市春玉米品种熟性均发生了改变,表现为由不能种植到种植早熟、早熟向中(晚)熟、中晚熟向晚熟品种的变化。

依据玉米各品种熟性所需积温(表 1),进一步比较阿勒泰地区各个县市 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温突变前后等值线的变化。由图 3c 看出,突变前青河县东部 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温不足 2100°C ,不能种植春玉米;青河县西部—富蕴县东南部—吉木乃县西部—哈巴河西部一小部分地区积温在 $2100^{\circ}\text{C} \sim 2400^{\circ}\text{C}$ 之间,只能满足早熟

春玉米种植;吉木乃县和哈巴河县西部大部分地区—布尔津北部—阿勒泰东北部—福海县南部及东部—富蕴西部积温在 $2400^{\circ}\text{C} \sim 2700^{\circ}\text{C}$ 之间,适宜种植春玉米中熟品种;而在海拔较低,积温较多的布尔津县、阿勒泰市的大部分地区—福海县北部地区以及哈巴河县东部积温达到了 $2700^{\circ}\text{C} \sim 3000^{\circ}\text{C}$,可以种植春玉米中晚熟品种。另外由图 3c 可知,突变前各县市积温均未达到 3000°C 以上,因此阿勒泰整个地区基本上不能种植晚熟品种,或种植风险较大。然而,随着气候不断变暖,阿勒泰地区积温发生突变性升高,突变后青河县东部 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温达 2350°C (图 3d),符合种植早熟玉米品种的积温条件;福海县西北部、阿勒泰市和布尔津县西南部以及哈巴河县东南部边缘地区达到了种植晚熟春玉米的积温条件;同时突变后阿勒泰地区其它县市春玉米品种熟性也均有所改变。总体上表现为积温突变后较突变前,早熟玉米种植区演变为中熟品种种植区;中熟玉米种植区演变为中晚熟品种种植区。

4 结 论

1) 随着气候变暖,近 50 年阿勒泰地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈现初日提前、终日推迟、持续日数延长、积温增加的现象,其倾向率分别为 0.3 、 1.3 、 $1.6\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $57.1^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。

2) $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日提前和终日的推迟导致阿勒泰地区春玉米播期提前,生长季延长。各县市玉米可以开始播种日期提前幅度在 $3\sim 8\text{ d}$,其中哈巴河县提前最多,为 8 d 。春播作物生长季延长在 $6\sim 11\text{ d}$ 之间。

3) 随着气候不断变暖,近 50 年阿勒泰地区春玉米不同品种熟性可种植区北界逐渐东扩,青河县东部的春玉米不可种植区消失,福海县西北部、阿勒泰市和布尔津县西南部以及哈巴河县东部边缘地区玉米品种由中晚熟转变为晚熟品种;其它地区由突变前早熟玉米品种种植区演变为中熟种植区,中熟玉米品种种植区演变为中晚熟种植区。

5 讨 论

50 年来阿勒泰地区年均气温倾向率为 $0.42^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ^[24],明显高于全国年平均气温 $0.22^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ^[2], $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温倾向率为 $57.1^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,显著高于西北地区 1961—2003 年的倾向率 $49.3^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ^[28],说明气候变暖使阿勒泰地区的热量资源增加较大。研究表明,气候变暖使阿勒泰地区春玉米播种期提前,各县市春玉米品种熟性发生了改变,该研究结果与赵俊芳、杨晓光等就气候变暖对东北三省春玉米影响的研究结果^[17-18]基本一致。表明在全球气候变暖的大背景下,气候变化对处于我国纬度最高的东北以及与其相同纬度的西北阿勒泰地区春玉米的影响效应基本相同。

阿勒泰地区春玉米播种面积由 1996 年的 0.69 万 hm^2 增加到目前的 1.82 万 hm^2 ^[25],除了政策调控等因素之外,气候变暖也是重要的因素之一。气候变化使春玉米生长季延长,积温增加,品种熟性由不能种植到种植早熟、早熟向中(晚)熟、中晚熟向晚熟品种的变化,其中哈巴河县、富蕴县、阿勒泰市、福海县、布尔津县春玉米播种面积占全区总面积 92.6% 是春玉米主产区^[25],突变后这些县市大部分地区均演变为中晚熟春玉米种植区,使春玉米生产潜力得到最大程度发挥,从而提高其产量和品质,获得较大的效益。同时考虑到阿勒泰地区畜牧业总产值占农业总产值的 46% 以上^[25],高的畜牧业比重对牧草、

青贮玉米需求量较大,气候变暖使牧草等作物的生长季延长从而为阿勒泰地区畜牧业提供充足的饲料储备。气候变暖对阿勒泰地区春玉米种植带来正面影响的同时也可能会带来了负面影响,比如播种期的提前可能会遇到低温冷害等灾害,因此需要采取措施,来防御冷害对春播玉米的影响。

参 考 文 献:

[1] IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis [C]// Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007:1-996.

[2] 秦大河,丁一汇,苏纪兰,等.中国气候与环境演变评估(1):中国气候与环境变化及未来趋势[J].气候变化研究进展,2005,(1):4-9.

[3] 何云玲,张一平,杨小波.中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征[J].地理科学,2007,27(4):499-505.

[4] 黄晓莹,温之平,杜尧东,等.华南地区未来地面温度和降水变化的情景分析[J].热带气象学报,2008,24(3):254-258.

[5] 姜群鸥,邓祥征,战金艳,等.黄淮海平原气候变化及其对耕地生产潜力的影响[J].地理与地理信息科学,2007,23(5):82-85.

[6] 江志红,张霞,王冀.IPCC-AR4 模式对中国 21 世纪气候变化的情景预估[J].地理研究,2008,27(4):787-799.

[7] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等.新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J].干旱区地理,2002,25(3):194-200.

[8] 李景林,张山清,普宗朝,等.近 50a 新疆气温精细化时空变化分析[J].干旱区地理,2013,36(2):228-237.

[9] 赵俊芳,郭建平,张艳红,等.气候变化对农业影响研究综述[J].中国农业气象,2010,31:200-205.

[10] 郭良才,岳虎,王强,等.河西走廊干旱区农业气候资源变化特征[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):14-22.

[11] 王玉河,王承军.新泰市气候变化及其对种植业的影响[J].安徽农业科学,2011,39(24):178-180.

[12] 千怀遂,魏东岚.气候对河南省小麦产量的影响及其变化研究[J].自然资源学报,2000,15(2):149-154.

[13] 张翠英.气候变暖对鲁西南冬小麦播种期的影响[J].气象科技,2008,36(5):609-611.

[14] 张佩,高苹,刘彦丽.江苏省冬小麦播种期对气候要素变化的响应[J].气象科学,2011,31(6):763-769.

[15] 刘文平,郭慕萍,安炜.气候变化对山西省冬小麦种植的影响[J].干旱区资源与环境,2009,23(11):88-93.

[16] 高俊灵.新疆界限温度 10°C 初日变化及其对冬小麦生育期的影响[J].中国农业气象,2009,30(1):120-122.

[17] 王培娟,梁宏,李伟君,等.气候变暖对东北三省春玉米发育期及种植布局的影响[J].资源学,2011,33(10):1976-1983.

[18] 赵俊芳,杨晓光,刘志娟.气候变暖对东北三省春玉米低温冷害及种植布局的影响[J].生态学报,2009,29(12):6543-6551.

[19] 崔静,王秀清,辛贤.生长期气候变化对中国主要粮食作物单产的影响[J].中国农村经济,2011,(9):13-22.

4 结 论

- 1) 黑河流域近 50 年来气温持续升高,降水增加,有变暖、增湿的趋势,尤其是 20 世纪 90 年代以后,这种趋势明显加强,最显著的特点是冬季升温幅度最大,秋、冬降水增幅明显。
- 2) 黑河流域绿洲农业区增温、增湿趋势存在明显的地理差异,上游祁连山区增温、增湿幅度明显大于中、下游绿洲灌溉农业区。
- 3) 通过对湿润指数分析,近 50 年流域地表并不是一直向着干旱化趋势发展,存在一定的周期波动。20 世纪 80 年代中期以前,呈波动性上升趋势,气候有向暖、湿化发展的趋势,以后由于流域内升温幅度明显大于降水增加的幅度,且上游地区表现的特别明显,这种水、热增长失衡且水、热增长不同季现象,使得流域内湿润指数缓慢下降,导致流域上游祁连山区积雪、冰川加速消融,水资源过度消耗,对未来绿洲农业可持续发展将会产生不利影响。
- 4) 黑河流域气候暖、湿变化对流域内绿洲农业生产影响明显,一定幅度的增温、增湿对提高粮食作物产量有一定正向作用;气候变化还是流域内作物适宜种植区域发生变化,高耗水、喜温凉气候的作物适宜种植区面积缩小,低耗水、喜温作物适宜种植区面积扩大,种植区域北移,种植海拔高度上限提升。
- 5) 黑河流域气候暖、湿变化使流域内作物的发育进程发生改变,不同作物对气候变化的响应不同。近 30 年以来,春小麦生育期缩短,尤其近 10 年来生

育期缩短较为明显;气候暖、湿变化有利于玉米等喜温作物正常生长,使玉米生育期延长,产量和品质有了明显提高。

参 考 文 献:

[1] 张厚宣,林而达.中国农业响应全球气候变化的策略问题[J].农业环境保护,1997,16(1):35-39.

[2] 王馥棠.近百年我国积温变化与作物产量[J].地理学报,1982,9(3):173-280.

[3] 张建平,赵艳霞,王春乙,等.气候变化对我国华北地区东小麦发育和产量影响[J].应用生态学报,2006,17(7):1179-1184.

[4] 陶 波,李克让,邵雪梅,等.中国陆地净初级生产力时空特征模拟[J].地理学报,2003,58(3):372-380.

[5] 李栋梁,吕兰芝.中国农牧交错带的气候特征与演变[J].中国沙漠,2002,22(5):483-488.

[6] 姚玉璧,王润元,邓振镛,等.黄土高原半干旱区气候变化及其对马铃薯生长发育的影响[J].应用生态学报,2010,2(2):287-295.

[7] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:72-75.

[8] 邢文渊,肖继东,师庆东.巴里坤绿洲 1960—2006 年湿润指数变化[J].沙漠与绿洲气象,2008,2(3):29-32.

[9] 孟 猛,倪 健,张治国.地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J].植物生态学报,2004,28(6):853-861.

[10] 邓振镛.河西地区垂直气候带与立体农业结构研究[C]//邓振镛.干旱地区气象研究.北京:气象出版社,1999:18.

[11] 刘洪兰,张俊国,董安祥,等.张掖市水资源利用现状及未来趋势预测[J].干旱区研究,2008,25(1):35-39.

[12] 邓振镛,河西农业气候资源鉴定与农业气候区划[C]//邓振镛.干旱地区气象研究.北京:气象出版社,1999:22.

(上接第 224 页)

[20] 刘德祥,董安祥,陆登荣.中国西北地区近 43 年气候变化对农业生产的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):195-201.

[21] 张 强,邓振镛,赵映东,等.全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J].生态学报,2008,28(3):1210-1218.

[22] 霍治国,李茂松,王 丽,等.气候变暖对中国农作物病虫害的影响[J].中国农业科学,2012,45(10):1926-1934.

[23] 齐桂英.阿勒泰地区夏季降水变化特征及其预测方法探讨[J].河北农业科学,2010,14(10):144-146.

[24] 古丽扎提·哈布肯,赵景波.新疆阿勒泰地区近 50a 来极端气温与降水变化[J].干旱区资源与环境,2011,7(25):112-116.

[25] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴[M].新疆:中国统计出版社,2010:289-301.

[26] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:42-66.

[27] 史建国,张燕卿,何文清,等.黄河流域干燥度时空格局变化研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):242-247.

[28] 龚绍先.粮食作物与气象[M].北京:中国农业大学出版社,1988:491-492.

[29] 中国农业科学院.中国农业气象学[M].北京:中国农业出版社,1999:325.

[30] 王荣栋,尹经章.作物栽培学[M].北京:高等教育出版社,2005:89.