

近 52 年来北疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日时空变化特征 及其对春玉米播期的影响

田彦君¹, 张山清², 徐文修¹, 只娟³

(1. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆乌鲁木齐市气象局, 新疆 乌鲁木齐 830001;
3. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 利用 1961—2012 年北疆 48 个气象台站的气象资料, 采用气候倾向率、 t -检验、一元线性回归、IDW 插值等方法分析了北疆以及各地州近 52 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的变化及其对春玉米播期的影响。结果表明: (1) 1961—2012 年北疆平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日整体以 $-0.9\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的倾向率呈提前趋势, 20 世纪 80 年代之前, 以平均 $4.8\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的倾向率呈推迟趋势, 之后至今呈持续提前趋势, 20 世纪 90 年代提前趋势最为明显, 倾向率达 $-13.5\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。(2) 北疆春玉米平均播期的提前受气候变暖显著影响, 21 世纪初北疆春玉米平均播期在 3 月 26 日—5 月 5 日, 且较 20 世纪 60 年代, 平均播期最多提前达 10~21 d, 大部分县市提前 1~9 d。随着气候持续变暖, 北疆地区春玉米平均播期将进一步提前。

关键词: $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日; 气候变化; 北疆; 春玉米; 播期
中图分类号: S162.5+3 **文献标志码:** A

Spatial-temporal variation of first $\geq 10^{\circ}\text{C}$ date in the past 52 years and its impact on the sowing date of spring maize in northern Xinjiang

TIAN Yan-jun¹, ZHANG Shan-qing², XU Wen-xiu¹, ZHI Juan³

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
2. Urumqi Meteorological Bureau of Xinjiang, Urumqi, Xinjiang 830002, China;
3. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Based on the data collected from 48 meteorological stations in the north area of Xinjiang from 1961 to 2012, the paper analyzed the influence of the first date change of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in recent 52 years on sowing date of spring maize in northern Xinjiang by means of linear regressions, t -test, a linear regression equation and Inverse Distance Weighted of Arcgis 9.3. The results showed that (1) the average first $\geq 10^{\circ}\text{C}$ date moved up on the whole with a trend rate of $-0.9\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ from 1961 to 2012, specifically, the date was postponed with a trend rate of $4.8\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ before 1980s, and then continuous moved up. This advance trend was significantly obvious in 1990s with the trend rate of $-13.5\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$. (2) Sowing date of spring maize was advanced with the effect of climate warming, the average sowing date ranged from March 26th to May 5th in Northern Xinjiang at the beginning of this century. Compared with 1960s, the current sowing date was advanced 10~21 d at the most, and 1~9 d in most counties. With the climate warming continues, average sowing date of spring maize in Xinjiang northern region will be further advanced.

Keywords: first $\geq 10^{\circ}\text{C}$ date; climate changes; northern Xinjiang; spring maize; sowing date

IPCC 第五次评估报告指出, 1901—2012 年全球海陆表面平均温度大约升高了 0.89°C , 且预估未来全球气候仍将呈线性上升趋势, 21 世纪末全球平均地表温度将在 1986—2005 年的基础上升高 $0.3^{\circ}\text{C} \sim 4.8^{\circ}\text{C}$ ^[1]。相关研究表明, 农业生产受气候条件的影

响非常大^[2-3]。近几十年来, 众多学者对作物种植制度、生长发育和产量对气候变化的响应开展了大量研究得出, 气候变暖使我国农区的热量资源呈普遍增加趋势, 以高纬度地区增温最为明显, 已造成熟制边界北移, 喜温作物播种期提前且生育期延长, 作

收稿日期: 2016-02-01
基金项目: 新疆研究生科研创新项目基金(XJGRI2015089); 国家自然科学基金(31260312)
作者简介: 田彦君(1989—), 男, 四川仪陇人, 硕士研究生, 研究方向为耕作制度与农业生态。E-mail: tianyanjun@163.com。
通信作者: 徐文修(1962—), 女, 河北蠡县人, 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。

物品种熟性由早中熟向中晚熟转变,使作物生产潜力增加^[4-7]。而作物播种期的变化对增产影响尤为明显,因此备受国内学者关注^[8-10]。国内对春玉米播种期变化的大量研究表明,华北平原、山西中南部和黑龙江中东部地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的初日普遍以 $1.5\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 以上的气候倾向率提前,受温度、降雨及太阳辐射量变化的影响,2000s 黄淮海地区以北的春玉米播种期较 1970s 普遍提前 1~10 d,但东北局部地区春玉米平均播期呈现出推迟 1~2 d 的变化^[11-13]。高纬度的北疆地区是我国春玉米重要的种植区之一,据新疆统计年鉴^[14]显示,位于北疆西北部的博尔塔拉蒙古自治州在 2012 年平均单产高达 $15.01\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,2011—2013 年北疆地区平均单产为 $9.85\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,高出我国平均单产 72.20%。而目前气候变暖对北疆春玉米生长和发育进程的影响研究仅见阿勒泰地区^[5],对整个北疆春玉米播期对气候变暖的响应研究却少见报道。因此,本文将结合北疆地区 48 个气象台站 1961—2012 年的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日气象资料,全面系统分析北疆及各地州近 52 年春玉米播期的变化特征,揭示北疆春玉米播期对全球气候变暖的响应以及近年平均播期的空间分布,对该地区春玉米适时播种和获得高产具有十分重要的指导意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

北疆位于我国西北边陲新疆北部 ($79^{\circ}53'\sim 96^{\circ}23'\text{E}$, $40^{\circ}52'\sim 49^{\circ}11'\text{N}$),以乌—昌地区和石河子地区为中心,北部为阿勒泰地区,西部为伊犁哈萨克自治州,塔城地区、博尔塔拉蒙古自治州和克拉玛依地区位于西北部,吐鲁番地区和哈密地区位于东南部,总面积为 82.46 万 km^2 ,占新疆总面积的 49.53%。该区为温带大陆性干旱半干旱气候,年平均气温 7.0°C ,年平均降水量 229.16 mm ,年平均日照时数 $2\,806.87\text{ h}$,是典型的绿洲冲积扇边缘灌溉农区,更是我国重要的玉米生产基地,据新疆统计年鉴显示,2011—2013 年,北疆地区玉米平均播种面积 38.737 万 km^2 ,占新疆玉米平均播种面积的 46.40%。

1.2 气象资料

本研究选取北疆主要农业区域 43 个县市内的 48 个气象台站 1961—2012 年的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日逐日气象数据,数据均来自新疆维吾尔自治区气象局,玉米播种面积和单位面积产量取自 2013—2015 年《新疆统计年鉴》^[14]。研究区域和气象站点分布见图 1。

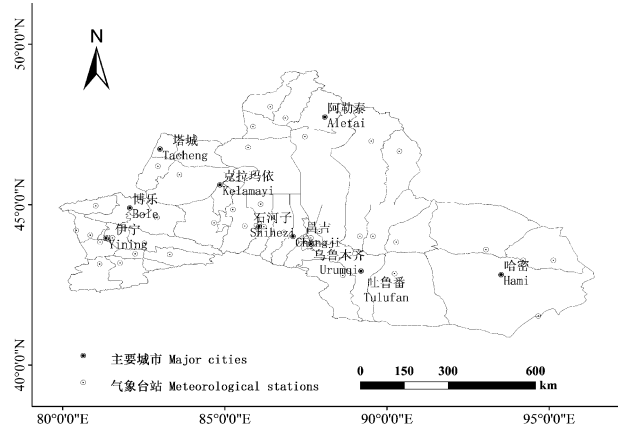


图 1 研究区域及气象站点分布

Fig.1 The distribution of meteorological stations in this study

1.3 研究方法

1.3.1 求算气候倾向率 通常用一元线性方程来描述气候要素的变化趋势^[15],即

$$y(t) = a_0t + b \tag{1}$$

式中, t 为年序; a_0 为线性方程的斜率,即气候要素的变化趋势, $a_0 \times 10\text{a}$ 称为气候倾向率 ($\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$); b 为常数。

1.3.2 气候要素的突变检测 基于 SPSS19.0 软件,使用两独立样本的滑动 t -检验的方法检验气象要素的突变点。对于具有 n 个样本量的时间序列 x ,认为设置某一时刻为基准点,基准点前后两段子序列 x_1 和 x_2 的样本分别为 n_1 和 n_2 ,两段子序列平均值为 $\overline{x_1}$ 和 $\overline{x_2}$,方差为 s_1^2 和 s_2^2 。定义统计量^[16]:

$$t = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{s \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \tag{2}$$
$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

1.3.3 气候要素的空间分布模拟 前人对比发现,反距离加权法 (inverse distance weighting, IDW) 对复杂地形下的气象要素插值模拟效果较好^[17-18]。反距离权重法根据地理学的第一定律,距离越近的两个事物,它们的属性就越相似且被赋予权重越大,反之权重越小,其以样本点与插值点间的距离为权重进行加权平均^[19],公式可表示为:

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{z(x_i)}{d_i^p} / \sum_{i=1}^n d_i^p \tag{3}$$

式中: Z 为待估算的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日序和变化日数的栅格值; $z(x_i)$ 为第 i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 个气象站点的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日序和变化日数; n 为用于插值站点的个数; d_i 为插值点到第 i 个站点的距离; p 为距离的幂,本研究中, p 取值为 2,即反距离平方插值。

2 结果与分析

2.1 近 52 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日倾向率变化分析

2.1.1 北疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日倾向率整体变化 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日出现的早晚影响着喜温作物的播期。为便于计算,将日期转化为日序,即以 1 月 1 日为起点并计为 1,1 月 2 日计为 2,依次类推,12 月 31 日计为 365,通过计算北疆 48 个气象站点近 52 年来历年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日序的平均值,求得北疆 1961—2012 年历年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日平均日序,再依据日序与日期的对应关系用一元线性方程来描述 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的变化趋势及其累积距平变化并得到图 2。

由图 2 可知,1961—2012 年北疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日总体在波动中以 $-0.9\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的倾向率呈提前的趋势变化,平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日最早出现在 2000 年的 4 月 9 日,最迟在 1993 年的 5 月 4 日,历年平均值为 4 月 21 日。从 1961—2012 年北疆地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的累积距平得出,1994 年出现了累积距平最大值,经过 t 检验,北疆地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日在近 52 年没有发生显著性突变。进一步分析北疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的年代际倾向率变化可知(表 1):北疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日在 1960s 和

1970s,以平均 $4.8\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的倾向率推迟,此后各年代均呈提前变化趋势,其中 1990s 提前趋势最为明显,倾向率达到 $-13.5\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$,自 21 世纪以来提前趋势有所放缓,倾向率为 $-6.3\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。

2.1.2 各地州 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日倾向率变化 进一步分析各地州倾向率变化可知(表 1),仅北疆最热的吐鲁番地区平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日倾向率于各年代均为正值,平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日表现为持续推迟外,其余各地州 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的倾向率在大部分年代为负值,呈现出提前的变化趋势。在 1960s,除位于西部的伊犁地区平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日有提前的变化趋势外,其余地区呈推迟的变化趋势。从 1970s 开始,位于中部的乌—昌地区、西北部的博州地区和克拉玛依地区以及东南部的哈密地区开始呈持续提前变化趋势。自 1980s 以来,各地区平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日整体以提前趋势为主,并呈现出西部及西北部地区快于中部地区,东南部地区提前趋势最慢的变化特点。在 1980s 和 1990s,除吐鲁番和克拉玛依地区为推迟趋势外,大多数地区平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日以高于其它年代的趋势呈提前变化,而 21 世纪初,除北部的阿勒泰地区和东南部的吐鲁番地区外,其余地区仍为提前的变化趋势。

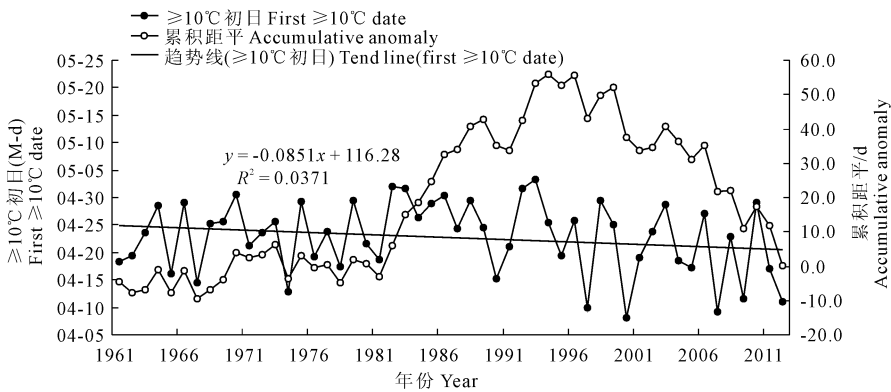


图 2 北疆 1961—2012 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日及累积距平

Fig.2 Variation of first $\geq 10^{\circ}\text{C}$ date and cumulative departures in northern Xinjiang during the period of 1961—2012

表 1 北疆各地区不同时段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日倾向率/ $(\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1})$

地区 Area	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2012	1961—2012
伊犁 Yili	- 7.1	2.4	4.0	- 15.1	- 13.0	- 1.3
阿勒泰 Aletai	7.7	2.1	- 10.1	- 18.7	0.9	- 0.4
吐鲁番 Turpan	16.7	17.5	3.1	4.3	3.6	0.2
哈密 Hami	4.3	- 0.7	- 5.4	- 8.3	- 5.7	- 0.8
石河子 Shihezi	15.1	0.1	- 11.5	- 7.6	- 8.1	- 1.4
博州 Bortala Mongol Autonomous Prefecture	14.0	- 2.2	- 10.6	- 13.1	- 7.2	- 0.3
塔城 Tarbagatay Prefecture	10.1	1.5	- 10.3	- 16.9	- 8.8	- 1.2
克拉玛依 Karamay	20.9	- 3.5	0.5	1.3	- 10.5	- 1.1
乌—昌 Urumqu—Changji	19.4	- 2.6	- 11.1	- 19.6	- 5.4	- 0.5
北疆 Northern Xinjiang	8.1	1.5	- 5.9	- 13.5	- 6.3	- 0.9

2.2 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日期变化及其与年平均气温的相关性分析

2.2.1 2000s $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日期较 1960s 的变化 由上述研究,我们得知北疆近 52 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日整体呈提前的变化趋势,为了明确北疆近 52 年来平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的具体变化日期,依照上述日期与日序之间的对应关系,进一步将日期转化为日序,统计计算北疆及各地州近 52 年来 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的变化日序,由此推断出对应的具体日期。将各站点 2000s 和 1960s 平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日期对应的平均日序整理后求得其差值即为近 52 年平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日期累积变化天数,再通过 IDW 插值法模拟得到图 3(a)(图中负数和正数分别代表提前和推后的天数)。由图 3(a)可知,近 52 年北疆大多数地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的日序呈减少的变化,即对应的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日为提前的变化。其中北疆西部伊犁地区较冷凉的昭苏县提前天数最多,为 10~21 d;其次为位于西北部的塔城大部地区、博州市和伊犁河谷东南部地区提前 5~9 d;除零散分布于东南部较热的吐鲁番市周边地区和西北部的温泉县及其以西地区、中部的乌苏市和乌鲁木齐市等地区推迟了 0~5 d 以外,北疆大部地区提前

1~4 d。
2.2.2 近 52 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日期变化与年平均气温变化的相关性 为探究 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日变化对气候变暖的响应,在整理了北疆近 52 年年平均气温的基础上,进一步分析北疆 2000s 年平均气温较 1960s 变化量的空间分布(图 3b),由图 3b 可知,北疆年平均气温整体呈现出中高纬度地区比低纬度地区增温更明显的变化,哈密地区北部、塔城地区和阿勒泰地区东部年平均气温上升幅度较高。为进一步探究北疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日变化对年平均气温上升的响应,建立近 52 年北疆平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的日数序和年平均气温的回归方程,求得其相关性系数为 -0.31 ,经 F 检验其 $F > F_{0.05}$,表明北疆平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的日序增加与年平均气温上升呈显著负相关,即平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日提前与年平均气温上升呈显著正相关。分别计算各地区的相关性系数得知,北疆中低纬度的哈密和吐鲁番地区及中高纬度塔城地区相关性系数均为 -0.28 ,呈现出显著性相关,而中高纬度的博州和克拉玛依地区相关性均为 -0.26 ,虽未达显著性相关,但仍高于高纬度的塔城地区和中低纬度的石河子、乌-昌和伊犁地区的相关性系数($-0.19 \sim -0.25$)。

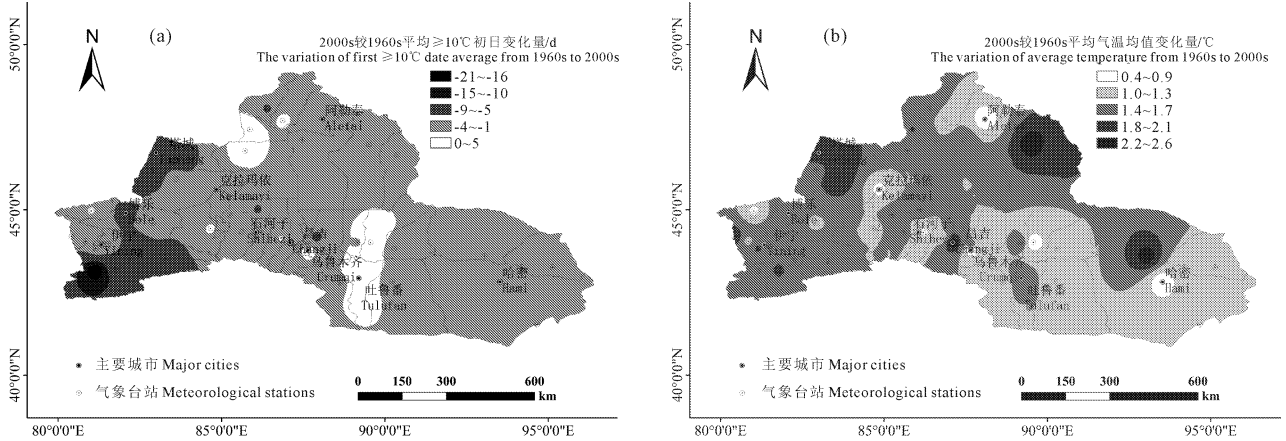


图 3 2000s 北疆平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日及年平均气温较 1960s 变化的差值空间分布

Fig.3 The spatial differences of the average changes of first $\geq 10^{\circ}\text{C}$ date and average temperature in northern Xinjiang in 1960s and 2000s

2.3 北疆春玉米平均播期的变化及其对气候变暖的响应

2.3.1 2000s 北疆春玉米平均播期较 1960s 的变化 依据春玉米播种对温度的要求,结合北疆地区灌溉农业的资源优势,可以认为日平均气温稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日即为春玉米适宜大面积播种的初始日^[20],因此,在上述研究的基础上,进一步阐述北疆春玉米播期变化对气候变暖的响应。在整理了北疆近 52 年平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日序数的基础上,绘制了 1960s 和 2000s 北疆春玉米播期空间分布图(图 4)。由图 4a 可知,1960s 北疆平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的日序数

在 79~159,对应的春玉米播期在 3 月 20 日—6 月 8 日(已不适宜播种春玉米),高纬度的阿勒泰和中高纬度的塔城地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日平均日序数在 93~119,对应的春玉米平均播期在 4 月 3 日—4 月 29 日,而大部分中纬度和低纬度地区平均日序在 120~132,对应的春玉米平均播期在 4 月 30 日—5 月 12 日。
2000s 北疆春玉米平均播期在空间上主要呈两条由中高纬度向低纬度近东西走向的带状分布,一条为中纬度至低纬度走向分布,包括伊犁河谷、克拉玛依、石河子和乌-昌地区西部至吐鲁番地区东部连片的大部分地区,本世纪初平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日序

在 101 ~ 109,对应的春玉米平均播期在 4 月 11 日—4 月 19 日;另一条为中高纬度至低纬度走向分布,日序数在 110 ~ 119,对应春玉米平均播期在 4 月 20 日—4 月 29 日,内含西北部的塔城地区、阿勒泰南部及中部的乌昌地区东部和东南部的哈密地区南部连片的大部分地区;而较冷凉的阿勒泰北部和东南

部哈密地区北部,以及零星分布于塔城地区的托里县、伊犁河谷西北部的温泉县等地日序数在 120 ~ 138,对应日期在 4 月 30 日—5 月 18 日,为北疆春玉米平均播期最迟的地区;而最热的吐鲁番地区平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日日序在 81 ~ 100,对应日期在 3 月 22 日—4 月 10 日,为北疆春玉米平均播期最早的地区。

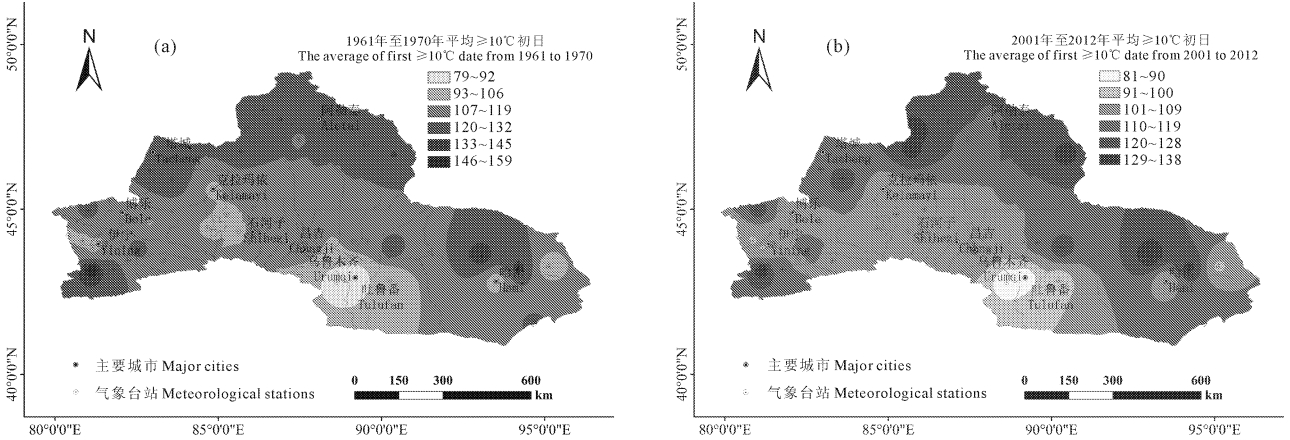


图 4 1961—1970 年和 2000—2012 年北疆平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日空间分布

Fig.4 The spatial distribution of average first $\geq 10^{\circ}\text{C}$ date in northern Xinjiang in 1961—1970 and 2000—2012

2.3.2 北疆 2000s 春玉米平均播期和年平均气温较 1960s 的变化 结合图 3 可知,2000s 北疆大部分地区春玉米平均播期较 1960s 提前(图 3a),整体呈现出中高纬度地区提前变化较为明显,而高纬度和低纬度地区变化较小。其中西部伊犁地区较冷凉的昭苏县提前天数最多,为 10 ~ 21 d,由 5 月 12 日—7 月 2 日提前至 5 月 3 日—5 月 28 日;其次提前 5 ~ 9 d 的地区位于西北部的塔城大部地区、博州市和伊犁河谷东南部地区;仅位于北疆中部的吐鲁番市周边地区和西北部较冷凉的阿勒泰西部的局部地区、以及零星分布于温泉县、乌苏市和乌鲁木齐市等地区推迟了 0 ~ 5 d;除此之外的大部地区提前 1 ~ 4 d。而北疆年平均气温整体呈现出中高纬度地区较低纬度地区增温更明显的变化(图 3b),哈密地区北部、塔城地区和阿勒泰地区东部年平均气温上升幅度较高。

2.3.3 北疆近 52 年春玉米平均播期对气候变暖的响应 为进一步探究北疆春玉米平均播期对气候变暖的响应,结合春玉米播期的判断指标建立近 52 年北疆平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日的日序数和年平均气温的回归方程,求得其相关性系数为 -0.31,经 F 检验其 $F > F_{0.05}$,表明北疆春玉米播期延迟与年平均气温上升呈显著负相关,即北疆春玉米平均播期提前与年平均气温上升呈显著正相关。而结合各地区相关性来看,北疆春玉米平均播期的提前受年平均气温上升的影响较大,其中表现最为明显的是中高纬度的塔

城地区和哈密地区,春玉米播期和年平均气温的相关性系数均为 -0.28,呈现出显著性相关,而同纬度的博州和克拉玛依地区相关性均为 -0.26,虽为不显著性相关,但相关性较其它低纬度地区仍较高。由此可知,北疆春玉米平均播期的提前与年平均气温升高为显著性正相关,说明北疆春玉米平均播期的提前受气候变暖的影响较大,若气候持续变暖,则北疆地区春玉米平均播期将进一步提前。

3 讨论

北疆地区 1961—2012 年平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日倾向率为 $-0.85\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$,受全球气候变暖的影响,近 52 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日平均提前 3 ~ 11 d,比邹陈等^[21]对北疆地区 1961—2008 年 12 个站点平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日提前 5 d 的日数更多。2000s 较 1960s,北疆春玉米平均播期提前 1 ~ 21 d,比东北近 46 年(1961—2006 年)玉米适宜播种期提前 2 ~ 10 d^[22]更为明显,大部分地区春玉米播期提前日数与邓振镛等^[23]对西北灌区玉米适宜播种期提早 5 ~ 10 d 的结论相近,但北疆春玉米播期的地域性差异较明显,局部地区甚至呈现出推迟 0 ~ 5 d 的变化,多于东北个别地区推迟 1 ~ 2 d 的变化天数^[11]。

北疆春玉米平均播种期在 21 世纪近 10 年为近 52 年最早的时期,其中北疆西部的伊犁河谷大部玉米种植区可在 4 月 11 日—4 月 19 日播种;塔城地区、阿勒泰南部、乌昌地区东部和哈密地区南部连片

的大部分地区春玉米平均播期已提前至 4 月 20 日—4 月 29 日;北疆北部及中低山带春玉米区在 5 月上旬大面积播种为宜。再加之地膜覆盖播种一般比当地露地正常播种早播 $7 \sim 15 \text{ d}^{[24]}$,若采用覆膜播种技术,可在本研究基础上进一步提前 $7 \sim 15 \text{ d}$ 播种。通过本文研究,北疆春玉米平均播期受气候变暖显著性影响,已较 20 世纪 60 年代明显提前,通过适时早播、覆膜和调节春玉米相应的种植密度等有效措施,可保证春玉米安全成熟、提高粒重并夺取高产。因此,北疆地区春玉米平均播期的提前势必对该地区乃至新疆春玉米的产量产生重要影响,需要我们在生产中根据气候变化,适当调整作物生育期管理,选用高产作物和中、晚熟品种,适时播种,充分利用热量资源条件。但也需注意品种抗逆性和适应性的选择,避免因生育期延长和耗水量增加导致北疆地区灌溉农业用水矛盾加重,在生产上也要完善节水栽培技术,提高水分利用效率,使之适应气候变化。同时,也需要依据北疆地区的气候特点,注意更换适宜的品种和适期播种来应对早春的倒春寒和夏季的高温,在充分利用气候变化所增加的热量条件的同时,也要减少由于不适应的农业种植和气象灾害带来的损失,发挥北疆地区春玉米最大的产量潜力。

4 结 论

1) 1961—2012 年北疆 $\geq 10^\circ\text{C}$ 初日整体以 $-0.85 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 的倾向率呈提前的变化,1980s 之前,北疆平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 初日以 $4.8 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 的倾向率呈推迟变化趋势,而 1980s 后至今呈持续提前的变化,在 1990s 提前趋势最为明显,倾向率达到 $-13.5 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。2000s 平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 初日较 1960s 大部分地区提前了 $1 \sim 9 \text{ d}$,为近 52 年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 初日最早的时段。

2) 受年平均气温升高的显著影响,21 世纪初较 20 世纪 60 年代,北疆春玉米平均播期最高提前 $10 \sim 21 \text{ d}$,大部分县市提前 $1 \sim 9 \text{ d}$,提前天数呈现出西部和西北部最多,其次为北部和中部,东南部提前天数最少甚至推迟的特点。若气候持续变暖,则北疆地区春玉米平均播期将进一步提前。

3) 在 2000s,北疆西北部的塔城地区、阿勒泰南部、乌昌地区东部以及哈密地区南部的大部分地区春玉米平均播期提前至 4 月 20 日—4 月 29 日,位于天山北坡的伊犁河谷、克拉玛依、石河子和乌昌地区西部以及吐鲁番地区东部连片的大部分地区春玉米平均播期在 4 月 11 日—4 月 19 日,北疆北部及中低山带春玉米区在 5 月上旬大面积播种为宜。北疆覆膜播种春玉米的地区,可在此基础上进一步提前 $7 \sim 15 \text{ d}$ 。

参 考 文 献:

- [1] IPCC. Working Group I Contribution to The IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 集清尘,胡国权,赵宗慈.气候变化的风险、挑战与决策[J].气候变化研究进展,2009,5(4):249.
- [3] 刘德祥,董安祥,邓振镛.中国西北地区气候变暖对农业的影响[J].自然资源学报,2005,20(1):119-125.
- [4] 杨晓光,刘志娟,陈 阜.全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I.气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J].中国农业科学,2010,43(2):329-336.
- [5] 王荣晓,徐文修,只 娟,等.气候变暖对阿勒泰地区春玉米播种期和种植布局的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):219-232.
- [6] 只 娟,张山清,徐文修,等.天山北坡经济带棉花精细化气候区划研究[J].中国生态农业学报,2015,23(8):1045-1052.
- [7] 杨晓晨,明 博,陶洪斌,等.中国东北春玉米区干旱时空分布特征及其对产量的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(6):758-767.
- [8] 刘 明,陶洪斌,王 璞,等.播期对春玉米生长发育与产量形成的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(1):18-23.
- [9] 穆 佳,赵俊芳,郭建平.近 30 年东北春玉米发育期对气候变化的响应[J].应用气象学报,2014,25(6):680-689.
- [10] 钱锦霞,李 芬,奚玉香.影响山西春玉米适时播种的气象条件变化特征[J].中国农业气象,2007,28(3):246-249.
- [11] 翟治芬,胡 玮,严昌荣,等.中国玉米生育期变化及其影响因子研究[J].中国农业科学,2012,45(22):4587-4603.
- [12] 刘志娟,杨晓光,王文峰,等.全球气候变暖对中国种植制度可能影响 IV.未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响[J].中国农业科学,2010,43(11):2280-2291.
- [13] 米 娜,纪瑞鹏,张玉书,等.辽宁省玉米适宜播种期的热量资源分析[J].中国农学通报,2010,26(18):329-334.
- [14] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2013-2015.
- [15] 叶 清,杨晓光,李 勇,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化Ⅷ.江西省双季稻各生育期热量条件变化特征[J].应用生态学报,2011,22(8):2021-2030.
- [16] 符淙斌,王 强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493.
- [17] 张山清,普宗朝.新疆参考作物蒸散量时空变化分析[J].农业工程学报,2011,27(5):73-79.
- [18] 郑小波,罗宇翔,于 飞,等.西南复杂山地农业气候要素空间插值方法比较[J].中国农业气象,2008,29(4):458-462.
- [19] 于 洋,卫 伟,陈利顶,等.黄土高原年均降水量空间差值及其方法比较[J].应用生态学报,2015,26(4):999-1006.
- [20] 王荣栋,尹经章.作物栽培学[M].北京:高等教育出版社,2005:89.
- [21] 邹 陈,毛炜峰,吉春容,等.用前期月环流指数预测新疆棉区稳定 $\geq 10^\circ\text{C}$ 初日[J].干旱区研究,2010,27(4):621-627.
- [22] 贾建英,郭建平.东北地区近 46 年玉米气候资源变化研究[J].中国农业气象,2009,30(3):302-307.
- [23] 邓振镛,王 强,张 强,等.中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施[J].生态学报,2010,30(22):6278-6288.
- [24] 乌瑞翔,刘荣权,卢翠玲,等.地膜玉米的最佳播期及其“两个学说”的应用[J].中国农业科学,2001,34(4):433-438.