

# 新疆农业热量资源时空变化及其对熟制的影响研究

田彦君<sup>1</sup>, 张山清<sup>2</sup>, 徐文修<sup>1</sup>, 只娟<sup>3</sup>, 苏丽丽<sup>1</sup>

(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 个代表站的年平均气温、无霜冻期和  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温气象资料, 采用气候倾向率、Mann-Kendall 检验和 ArcGIS 中反距离权重插值等方法分析了北疆各县市农业热量资源的时空变化及其对熟制的影响。结果表明, 近 52 年北疆年平均气温、无霜冻期和  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温分别以  $0.36^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $4.7\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$  和  $80.66^{\circ}\text{C}\cdot \text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$  的倾向率呈增加及延长趋势, 其中塔城地区、伊犁河谷和阿勒泰地区较其它地区增温明显。各气象要素均在 20 世纪 80 年代之后发生突变, 突变年后农业热量资源增加明显, 作物熟制从仅满足一年一熟逐渐向多熟制发展, 表现为, 突变后一年三熟的地区较之前以吐鲁番市为中心向周边地区扩大, 一年二熟的地区扩大到精河县—克拉玛依市沿线以东, 克拉玛依—奇台—鄯善沿线以南天山以北的大部分地区和伊犁河谷西部以及哈密市周边地区, 而二年三熟地区增加较小, 一年一熟的县市呈继续向高纬度地区减少的趋势变化。

**关键词:** 北疆; 气候变化; 热量资源; 熟制  
**中图分类号:** S161.2      **文献标志码:** A

## Spatial-temporal variation of agricultural-heat resources and its impacts on multiple cropping in the North Area of Xinjiang

TIAN Yan-jun<sup>1</sup>, ZHANG Shan-qing<sup>2</sup>, XU Wen-xiu<sup>1</sup>, ZHI Juan<sup>3</sup>, SU Li-li<sup>1</sup>

(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 annual mean temperature, frost-free period and accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  from 48 meteorological stations in the north area of Xinjiang from 1961 to 2012, the spatial-temporal variation of agricultural-heat resources and its impact on multiple cropping was analyzed using linear regressions, Mann-Kendall test and Inverse Distance Weighted method. The results showed that the annual mean temperature, daily meteorological data in frostless period and accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  were increased by  $0.36^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,  $80.66^{\circ}\text{C}\cdot \text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$  and  $4.7\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$  ( $P < 0.01$ ) from 1961 to 2012, respectively. They were increased more obviously in Tacheng, Ili River Valley and Altai than others. Effects of the heat resource became enhanced. The cropping pattern in the North Area of Xinjiang changed from one crop per year to multiple crops per year after 1980s, which could be demonstrated by the expansion of the area with three crops per year from the central area to the surrounding areas in Tulufan after the year of abrupt changes. The area of two crops per year was expanded to east of Jinghe-Karamay, most north areas of Karamay-Qitai-hanshan and South Tianshan, west of Ili River Valley and surrounding areas near Hami City. The integrated heat resources meeting the requirements of three crops per two years were increased slowly, and counties with one crop per year continued to displaying a decreasing variation trend toward high latitudes.

**Keywords:** Northern Xinjiang; climate change; agricultural-heat resources; multiple cropping

收稿日期: 2015-06-01  
基金项目: 国家自然科学基金(31260312); 新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目基金  
作者简介: 田彦君(1989—), 男, 四川仪陇县人, 在读硕士研究生, 研究方向为耕作制度。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: xjwx@sina.com。

近百年来,全球气候呈现以暖为主的变化趋势,因此全球气候变化以及其造成的影响的研究已成为近年全球科学研究的热点问题。IPCC 第五次评估报告指出,1880—2012 年全球平均温度升高了 0.85 (0.65 ~ 1.06)℃,尤其是在北半球,1983—2012 年可能是最近 1 400 a 来气温最高的 30 a,且过去 30 年的每个 10 年比 1850—1980 年的任何一个 10 年都暖<sup>[1]</sup>。而我国近 50 年来年平均表面温度增加了 1.1℃,明显高于北半球同期的平均增温速率<sup>[2]</sup>。许多学者对近年来新疆热量资源和降水资源变化的研究表明,近 50 a 新疆大部分地区气温上升明显,降水增多,呈“暖湿化”变化<sup>[3-4]</sup>,而高纬度的北疆地区,气候变暖更为明显<sup>[5-7]</sup>。

农业对气候变化非常敏感<sup>[8-9]</sup>,气候变化对我国作物种植区划和种植制度、农业生产能力、农作物病虫害以及农业经济与管理等方面已经产生重要影响<sup>[10-11]</sup>。已有国内学者研究表明,气候变暖使我国农区的热量资源普遍增加,造成熟制边界北移,特别是高纬度地区可多熟种植北移程度更加明显,其中一年一熟区和一年二熟区分界线在山西省、陕西省、河北省境内平均向北移动了 26 km,可多熟种植的范围扩大<sup>[12]</sup>。

北疆为新疆北部较冷凉的地区,区域面积大,热量资源分布不均衡,种植制度区域性分布明显,20 世纪 80 年代以来,随着热量资源的增加,已有学者对北疆气候变化对棉花、玉米和小麦等作物种植区划、播期和产量的影响展开研究<sup>[13-15]</sup>,并初步得出北疆热量资源呈现增加的趋势,棉花等作物可种植界限北移,产量也受到很大影响。而在气候变化对北疆熟制和复种模式的影响方面,仅有学者对伊犁河谷地区进行了研究,并得出伊犁河谷平原地区热量资源突变后由一年一熟发展为一年两熟<sup>[16]</sup>,但以整个北疆农业大区作为研究对象,分析该区近 50 年农业热量资源变化对熟制和主要复种模式的影响鲜见报道。本文将结合北疆 48 个气象台站 1961—2012 年的气象资料,全面系统分析北疆地区近 52 a 热量资源的时空变化,揭示气候变化对北疆熟制产生的影响,从而为北疆作物布局及多熟种植发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北疆为天山以北的广大地区,位于东经 79°53' ~ 96°23',北纬 40°52' ~ 49°11',包括乌昌地区、克拉玛依地区、伊犁哈萨克自治州、石河子地区、塔城地

区、博尔塔拉蒙古自治州、阿勒泰地区、吐哈盆地,总面积为 82.46 万 km<sup>2</sup>,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℃,年平均降水量 229.16 mm,年平均日照时数 2 806.9 h,属绿洲灌溉农业区。该地区 2011—2013 年平均粮食播种面积 105.72 km<sup>2</sup>,占新疆粮食总播种面积的 50.28%,其中小麦平均播种面积为 54.83 km<sup>2</sup>,占新疆粮食播种总面积的 50.15%。

1.2 数据来源

本研究选取北疆主要农业区域内 43 个县市内的 48 个气象台站 1961—2012 年的年平均气温、无霜冻期和 ≥10℃ 积温逐日气象数据,数据均来自新疆维吾尔自治区气象局。研究区域和气象站点分布见图 1。

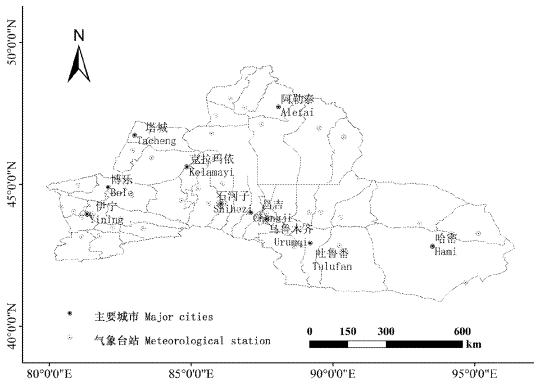


图 1 研究区域及气象台站分布

Fig.1 The study area and distribution of the meteorological stations in northern Xinjiang

1.3 数据分析

1.3.1 气候要素分析 用线性倾向率描述气候要素变化的趋势特征。采用最小二乘法,计算各气候要素样本  $X_i$  与时间  $t$  的线性回归系数,其变化可用一次线性方程表示:

$$X_i = at + b (t = 1, 2, \cdots, n) \tag{1}$$

以公式(1)中线性回归系数  $a$  的 10 倍作为气候倾向率。采用 TREND - M - K 软件中的 Mann - Kendall 法(以下简称 M - K 法),检验确定突变发生年的位置<sup>[17]</sup>。

采用 ArcGIS 的反距离权重插值方法(IDW),使用 Arcmap 软件对各气象要素处理后的数据进行 IDW 差值,模拟出各气象要素数值的空间分布和熟制的变化。该方法根据地理学第一定律,距离越近的两个事物,它们的属性就越相似,反之这种相似性随着距离的增加而减小,插值距离越近样本点赋予的权重就越大,具体方法参见文献[18 - 19]。本文 ArcGIS 的 IDW 所设定的 Cell size 的参数均为 0.002,

界限空间变动使用软件中的测量工具(measure)度量,最后将结果用 ArcGIS 软件表达。

1.3.2 熟制类型的确定 依据文献[20–22]中提出的我国熟制带确定所需的农业热量指标,选定年平均气温、无霜冻期以及 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温作为判断某一地区熟制的主要指标(表 1)。

表 1 北疆熟制判断指标

Table 1 The judgment index of multiple cropping in northern Xinjiang

| 熟制类型<br>Multiple<br>Cropping  | 年平均<br>气温<br>Annual mean<br>temperature<br>/ $^{\circ}\text{C}$ | 临界无<br>霜冻期<br>The least<br>frost free<br>period/d | $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温<br>$\geq 10^{\circ}\text{C}$<br>Accumulative<br>temperature<br>/ $(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$ |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一年一熟<br>One crop a year       | < 8                                                             | 140                                               | < 2600                                                                                                                          |
| 二年三熟<br>Three crops two years | 8 ~ 12                                                          | 150                                               | 2600 ~ 3600                                                                                                                     |
| 一年二熟<br>Two crops a year      | 12 ~ 16                                                         | 180                                               | 3600 ~ 5000                                                                                                                     |
| 一年三熟<br>Three crops a year    | 16 ~ 18                                                         | 230                                               | > 5000                                                                                                                          |

2 结果与分析

2.1 年平均气温

2.1.1 年平均气温时空变化 热量条件是决定一个地区能否复种的首要条件<sup>[21]</sup>,年平均气温能粗略评价一个地区的总体热量状况<sup>[22]</sup>。北疆近 52 a 年平均气温为  $7.0^{\circ}\text{C}$ ,并呈波动上升趋势(图 2),变化倾向率为  $0.36^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,最低值出现在 1969 年为  $4.9^{\circ}\text{C}$ ,2007 年达最高值  $8.5^{\circ}\text{C}$ 。进一步分析累积距平,通过 M–K 检验得出北疆近 52 a 年平均气温在 1988 年发生了显著性突变,突变后比突变前年平均气温升高了  $0.8^{\circ}\text{C}$ ,达  $7.6^{\circ}\text{C}$ ,且呈极显著性差异(表 2)。

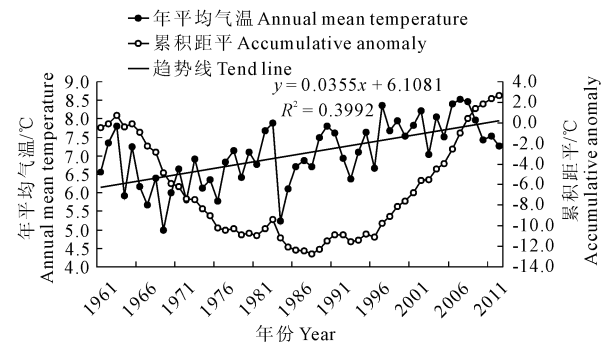


图 2 北疆 1961—2012 年年平均气温趋势及累积距平图  
Fig.2 Variation of the annual mean temperature in the northern Xinjiang during 1961—2012

表 2 北疆农业热量资源要素 M–K 突变点信度检验  
Table 2 The M–K–test results of the mean agricultural–heat elements in northern Xinjiang

| 项目<br>Item                                                    | 年平均<br>气温<br>Annual mean<br>temperature | $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温<br>$\geq 10^{\circ}\text{C}$<br>Accumulative<br>temperature | 无霜冻期<br>The least<br>frost free<br>period |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 突变时间<br>The year of mutation                                  | 1988                                    | 1999                                                                                     | 1994                                      |
| M–K 检验 Z 值<br>The value of Z to M–K                           | 4.806 **                                | 3.953 **                                                                                 | 4.892 **                                  |
| 突变前后差值<br>The difference between<br>before and after mutation | 0.8 $^{\circ}\text{C}$                  | 296.9 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$                                                    | 14.3 d                                    |

注: \* 为显著性相关, \*\* 为极显著性相关。

进一步分析北疆各县市近 52 a 年平均气温可知(图 3),各县市年平均气温差异非常大,阿勒泰地区的青河县、富蕴县周围及和布克赛尔县、巴里坤县附近,年平均气温为  $0.7^{\circ}\text{C}\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ ,为北疆较冷的地区,其中青河县最冷仅  $0.7^{\circ}\text{C}$ 。最热地区则是吐鲁番市及托克逊县附近,年平均气温高达  $14.7^{\circ}\text{C}$ 。而霍城县以西的新源县、克拉玛依市、乌苏市、哈密县、淖毛湖以及围绕吐鲁番和托克逊县外围至鄯善县周围的区域年平均气温在  $8^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$  之间,除此之外,北疆广大地区的年平均气温在  $4^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$  之间。

2.1.2 年均气温对熟制的影响 对比分析北疆年平均气温突变前后的变化可知(图 4),突变前吐鲁番市和托克逊县站点附近的年均气温在  $12^{\circ}\text{C}\sim 14^{\circ}\text{C}$  之间,可满足作物一年二熟的条件;零星分布于克拉玛依市、新源县、伊犁河谷西部、吐鲁番大部分地区和哈密市及淖毛湖站点周围年均气温在  $8^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$  之间,满足作物二年三熟的热量条件。除此之外的和布克赛尔至青河县北缘以北广大地区、巴里坤县以及伊吾县周围年均气温较低,只有  $0.1^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ ,作物熟制只能一年一熟。年均气温突变后,北疆各站点年平均气温增加至  $1.6^{\circ}\text{C}\sim 15.3^{\circ}\text{C}$  之间,原本一年两熟的区域有所扩大,由吐鲁番市和托克逊县站点附近地区向周围扩大,并且鄯善县站点附近地区则由突变前的两年三熟也变为了一年两熟区。二年三熟的范围扩大更为明显,由突变前仅零星围绕克拉玛依、新源、伊宁县以西、哈密、淖毛湖站点附近的区域,扩大到霍尔果斯–霍城–精河–克拉玛依–乌苏–玛纳斯–昌吉–吉木萨尔–哈密各站点以南的整个地区,但仅有精河县、乌苏市、巩留县和米泉市的年均气温保证率高于 80%。塔城市和裕民县站点附近也由一年一熟变为二年三熟。

一年一熟的地区明显向高纬度以东地区缩小,充分说明随着全球气候变暖,北疆的熟制总体上呈现出由一年一熟向多熟制发展的变化趋势。

2.2 无霜冻期

2.2.1 无霜冻期时空变化 无霜冻期也是评价农业热量资源丰欠程度,衡量某地区作物生长期的长短的重要农业气候指标<sup>[23-24]</sup>。为深入全面地了解气候变化对复播作物熟制的影响,需进一步分析北疆近 52 a 年平均无霜冻期的变化。由图 5 可知,北疆近 52 a 年平均无霜冻期与年平均气温一样也呈波动上升趋势,变化倾向率为  $4.7\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ ,在 1997 年达到历年平均最高值 201.7 d。经过 M-K 检验,北疆年平均无霜冻期在 1994 年发生了显著突变(表 2),突变后比突变前平均无霜冻期增加了 14.3 d,达

180.3 d。

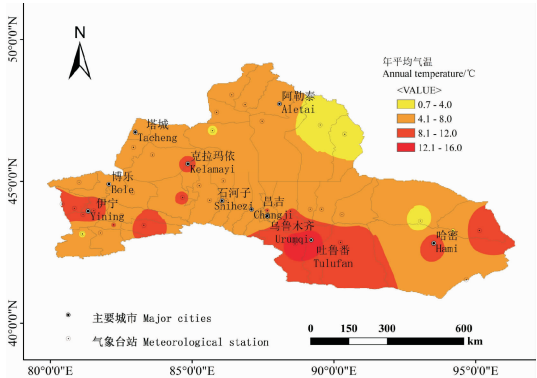


图 3 北疆近 52 年年平均气温空间分布

Fig.3 The spatial distribution of annual mean temperature during the past 52 years in northern Xinjiang

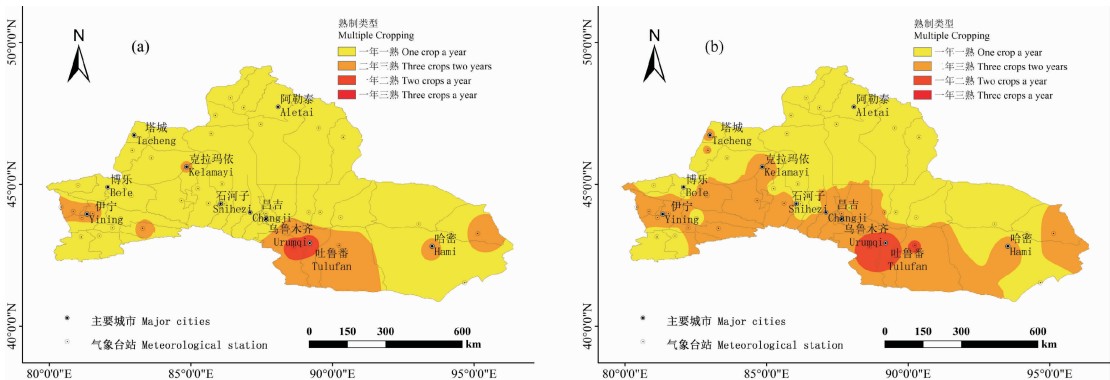


图 4 北疆近 52 a 年平均气温突变前(a)和突变后(b)空间分布

Fig.4 The spatial distribution of annual mean temperature before and after mutation during the past 52 years in northern Xinjiang

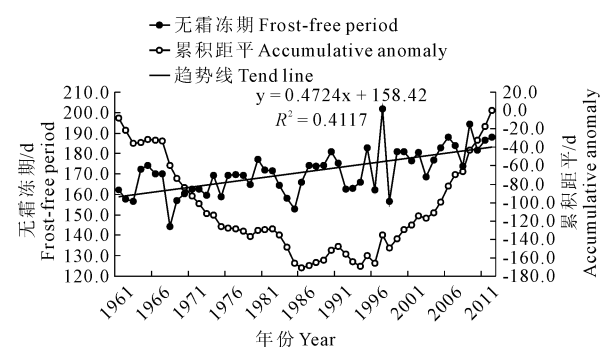


图 5 北疆 1961—2012 年年平均无霜冻期趋势和累积距平变化  
Fig.5 Variation of the daily meteorological data during the frost-free period in the northern Xinjiang from 1961 to 2012

进一步分析近 52 a 北疆各县市年平均无霜冻期可知(图 6),吐鲁番市年平均无霜冻期最长为 230 d 以上,其次年平均无霜冻期在 180.0 ~ 230.0 d 之间,主要分布于以克拉玛依市至新源县沿线向西扩展至鄯善县的广大地区以及精河县、伊犁河谷西部、哈密市和淖毛湖站点周围地区。阿勒泰地区东部和

西部、昭苏县、哈密地区北部至巴里坤以北地区年平均无霜冻期少于 150 d,为北疆无霜冻期较短的地区。除此之外,北疆广大地区年平均无霜冻期在 150.0 ~ 180.0 d 之间。

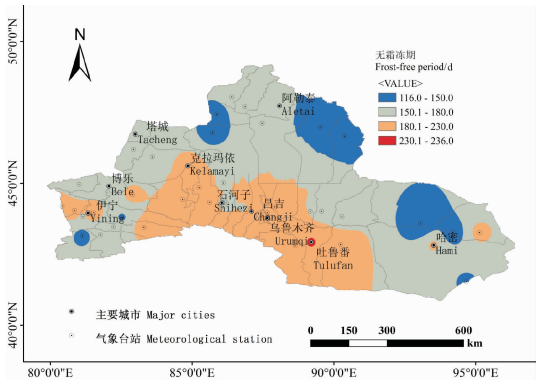


图 6 北疆近 52 a 年平均无霜冻期空间分布

Fig.6 The spatial distribution of the frost-free period during the past 52 years in northern Xinjiang

2.2.2 无霜冻期对熟制的影响 北疆近 52 a 年平

均无霜冻期在1986年突变前,平均无霜冻期最长地区零散分布于在以吐鲁番市为中心(图7a),北至阜康市、西至米泉市东至鄯善县的部分地区以及伊犁河谷西部局部地区、克拉玛依市、新源县、乌苏市和沙湾县站点周边地区,其无霜期范围在180.0~226.0 d之间,达到一年二熟的条件,但是,仅有伊宁县、克拉玛依市、吐鲁番市、鄯善县和托克逊县无霜期的保证率 $\geq 80\%$ ,其余大部分地区保证率均很低,说明突变前北疆广大地区种植一年两熟的风险性很高。

突变后北疆各站点年平均无霜冻期在124.0~247.0 d之间(图7b),除奇台县缩短了8.4 d外,整体呈增加趋势,最低和最高值均比突变前增加了约20 d。吐鲁番市年平均无霜冻期较之前增加最为明显,热量条件达到一年三熟,且保证率 $\geq 80\%$ ,并且一年二熟区的范围突变后也明显扩大,由原来零星的分布扩大至连片分布,北抵克拉玛依市、南至吐鲁番市南端、西至霍尔果斯市、东至鄯善县东部的连片地区以及哈密市和淖毛湖站点周围地区,其中呼图壁县、阜康市、察布查尔县、石河子市、昌吉市和莫索湾、炮台、淖毛湖站周围一年二熟保证率均超过80%,而裕民县、巩留县、博乐市、特克斯县、精河县和吉木萨尔县一年二熟的保证率在55.33%~76.47%之间,更适合二年三熟;除此之外,无霜冻期达到二年三熟的条件,且保证率均超过80%的地区仅有塔城市、乌鲁木齐市、阿勒泰市、额敏县和新源县;剩余的地区仅适宜一熟。

### 2.3 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温时空变化及对熟制影响

2.3.1  $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温时空变化趋势 界限积温是表征某地区农业热量资源丰富程度的重要指标,也是决定熟制的最主要依据<sup>[20,22]</sup>,在对北疆年平均气温和无霜冻期的分析基础上,进一步从积温的角度分析北疆熟制的变化。北疆地区近52 a年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 $3\,256.2^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ ,总体呈明显上升趋势,变化倾向率为 $80.66^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ (图8)。通过对北疆近52 a年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温累积距平的分析,经过M-K检验,于1999年发生了极显著突变(表2),突变后 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的平均值比突变前的增加了 $296.9^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ ,达 $3\,478.9^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

各县市近52 a年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温在 $1\,497.9\sim 5\,497.5^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,昭苏、温泉、吉木乃、和布克赛尔、青河、巴里坤等县市为北疆 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温较少的地区,最多的地区则是克拉玛依市至鄯善县以南的广大地区, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温在 $3\,600\sim 5\,496^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,其中吐鲁番最高可达 $5\,000^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上。

2.3.2  $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温变化对熟制的影响 进一步分

析北疆近52 a年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温突变前后作物熟制的变化。突变前仅吐鲁番市和托克逊县站点附近达到一年三熟的条件(图10a),其外围以及克拉玛依市、乌苏市、沙湾县、炮台站、阜康市、鄯善市、哈密市和淖毛湖各站点周围的积温可达到一年二熟条件的要求,但其保证率基本都低于80%。除此之外的大部分县市站点积温在 $3\,000^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 以下,基本上均属于一年一熟区。但突变后(图10b)各县市积温不仅增加明显,而且也扩大了积温增加的范围,使北疆85.42%站点的年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温达 $2\,600^\circ\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上,原本一年三熟的吐鲁番市和托克逊县站点的范围又向其周围地区扩大一倍左右,且 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温保证率达100%。一年二熟范围也由突变前的点片分布扩大到从克拉玛依市以南、精河以东至鄯善东缘以西的广大连片为主的地区,其中霍尔果斯市、霍城县、察布查尔县、石河子地区、呼图壁县、玛纳斯县和阜康市的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 保证率高于80%,其余各县市的保证率较低,但作为二年三熟则保证率高于80%。剩余县市虽然 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温突变之后均普遍提高,但不足以满足多熟种植的热量要求仍为一年一熟区。

以上分别分析了三个气象要素近52 a来突变前后对北疆熟制的影响,为了能更为准确地评价气候变化对北疆熟制影响的可能性,进一步将至少二个气象要素突变后对熟制影响趋势相同的县市进行对比分析发现,随着气温变暖,吐鲁番站点附近作物熟制已达到一年三熟制,是北疆熟制最为丰富的地区。其次霍尔果斯市、霍城县、鄯善县、托克逊县、乌苏市、沙湾县、克拉玛依市、米泉市、阜康市、淖毛湖和炮台等主要县市和站点周边地区已可以进行一年二熟,且热量保证率高于80%。虽然察布查尔县、伊宁市、伊宁县、哈密市、石河子市、莫索湾站周边地区、精河县、吉木萨尔县、呼图壁县和昌吉市已达到一年二熟热量资源条件,但一年二熟的保证率低于80%,种植风险较大,所以作为二年三熟区更为合适。

## 3 讨论

随着全球气候变暖,北疆近52 a的农业热量资源也呈明显的增加趋势,并比全国的热量资源增加更为显著,该区1961—2012年年均气温的倾向率比我国1961—2004年的高 $0.9^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ <sup>[25]</sup>,甚至比该区1955—2009年倾向率高 $0.024^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ <sup>[26]</sup>;平均无霜冻期的倾向率为 $4.7\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,比全国1961—2007年的倾向率高 $1.3\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ <sup>[27]</sup>; $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温倾向率达到 $80.66^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ,比北疆1961—2005年的倾向率高 $26.84^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ <sup>[28]</sup>,表明随着全球气候变

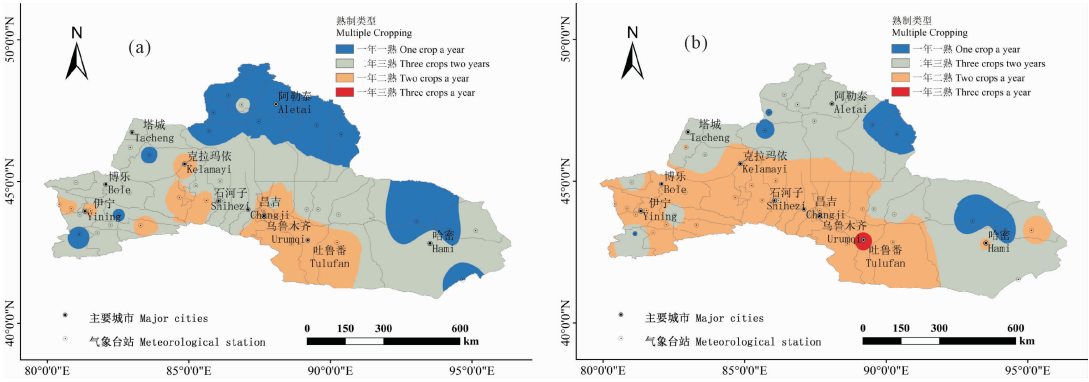


图 7 北疆近 52 a 年平均无霜冻期突变前(a)和突变后(b)空间分布

Fig.7 The spatial distribution of the frost-free period before and after mutation during the past 52 years in northern Xinjiang

暖,北疆近 52 a 的农业热量资源以高于全国平均速度增加,且近几年增加趋势更为显著。

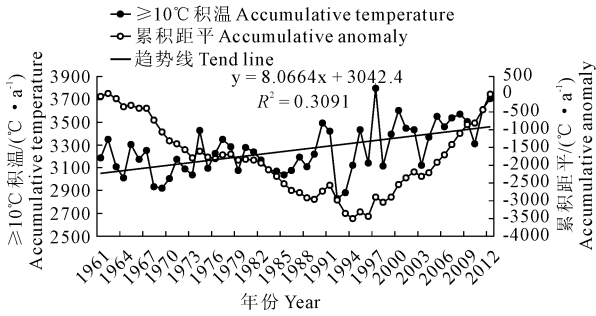


图 8 北疆 1961—2012 年  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温及累积距平  
Fig.8 Variation of accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  in northern Xinjiang during 1961—2012

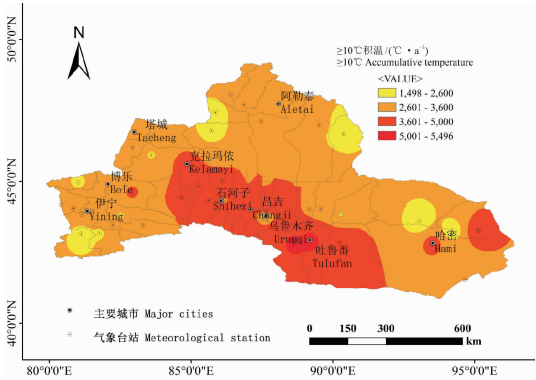


图 9 北疆近 52 a 年平均  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温空间分布  
Fig.9 The spatial distribution of the accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  during the past 52 years in northern Xinjiang

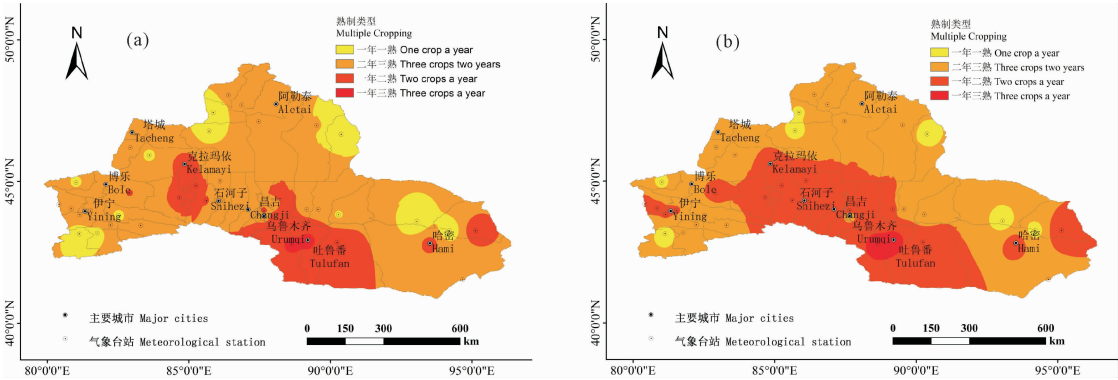


图 10 北疆近 52 a 年平均  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温突变前(a)和突变后(b)空间分布

Fig.10 The spatial distribution of the accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  before and after mutation during the past 52 years in northern Xinjiang

国内许多学者关于气候变化对我国作物熟制变化的研究表明,随着气候变暖,北方地区除西南部种植界限空间位移不显著以外,其它地区空间位移较明显,20 世纪 80 年代以来,东北平原丘陵半湿润温凉作物和东北西北低高原半干旱温凉作物一熟区变化为一年二熟区<sup>[29]</sup>。20 世纪 90 年代以后,华

北平原的可一年两熟种植北界出现了不同程度的北移<sup>[30]</sup>,而本研究表明,同期北疆部分地区作物熟制也由一年一熟转变为一年两熟,且多熟种植区域呈明显北移西扩的发展趋势,这与国内学者的研究结果呈现出相同的规律<sup>[29-31]</sup>,说明在全球气候变化下,我国作物熟制整体上已呈现出由一熟制向多熟

制发展的态势。

作为气候相对冷凉的北疆,熟制的增加有利于种植业的发展,不仅种植面积得以扩大,而且可以复播早熟玉米、大豆、油葵、青储玉米、打瓜和蔬菜等作物<sup>[32]</sup>,增加北疆粮食作物、经济作物、牧草和蔬菜等的产量,最终提高复种指数,促进作物年产量的提高。同时,新疆水资源短缺一直是新疆绿洲农业面临的难题,复播面积的增加势必可能加剧夏秋季作物争水的矛盾,因此,发展北疆多熟种植,需要更好的发展节水灌溉技术,以缓解各种作物争水的矛盾,实现多种多收。

4 结 论

1) 北疆近 52 a 农业热量资源除伊吾县、温泉县、乌鲁木齐市和奇台县等少部分县市呈负增长或零增长以外,总体上呈现快速增加的趋势,年平均气温、无霜冻期和  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温分别以  $0.36^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $4.7\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $80.66^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$  不同程度的增加,分别在 1996、1986、1998 年发生了极显著的增加突变。

2) 受全球气候变暖的影响,20 世纪 80 年代后期以来,北疆从一年一熟为主转变为以二年三熟和一年二熟为主。达到一年三熟热量资源条件的地区也以吐鲁番市为中心向周边地区扩大。一年二熟的地区已扩大至精河县-克拉玛依市沿线以东、克拉玛依-奇台-鄯善沿线以南、天山山脉以北、吐鲁番以西的连片地区,以及哈密市周边和伊犁河谷西部平原部分地区。二年三熟和一年一熟的地区面积明显减少。

3) 霍尔果斯市、霍城县、鄯善县、托克逊县、乌苏市、沙湾县、克拉玛依市、米泉市和阜康市以及淖毛湖和炮台站周围地区一年二熟保证率高于 80%,推广一年二熟种植模式较可行。新源县、阿勒泰市、塔城市、额敏县、乌鲁木齐市和玛纳斯县各站点周边地区综合热量资源满足二年三熟,且保证率高于 80%,可二年三熟。吐鲁番地区虽然达到一年三熟的热量条件,但由于夏季高温且灌溉用水紧缺,综合条件更符合一年二熟。除此之外的广大地区,建议仍然保持一年一熟,但可改种生育期延长的品种。

参 考 文 献:

[1] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068-1076.

[2] 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.

[3] 普宗朝,张山清,王胜兰,等. 近 48a 新疆干湿气候时空变化特征[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1563-1572.

[4] 贺晋云,张明军,王 鹏,等. 新疆气候变化研究进展[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 499-508.

[5] 李 硕,沈彦俊. 气候变暖对西北干旱区农业热量资源变化的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(2): 227-235.

[6] 徐娇媚,徐文修,李大平. 近 51a 伊犁河谷热量资源时空变化[J]. 干旱区研究, 2014, 31(3): 472-480.

[7] 普宗朝,张山清,王胜兰,等. 近 48a 新疆干湿气候时空变化特征[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1563-1572.

[8] 肖风劲,张海东,王春乙,等. 气候变化对我国农业的可能影响及适应性对策[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 327-331.

[9] 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.

[10] 邓振镛,张 强,蒲金涌,等. 气候变暖对中国西北地区农作物种植的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3760-3768.

[11] 郭建平. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展[J]. 应用气象学报, 2015, 26(1): 1-11.

[12] 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.

[13] 普宗朝,张山清,宾建华,等. 气候变暖对新疆乌鲁木齐地区棉花种植区划的影响[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(4): 257-264.

[14] 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.

[15] 普宗朝,张山清,徐文修,等. 气候变化对伊犁河谷冬小麦产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(15): 173-182.

[16] 牛海生,徐文修,徐娇媚,等. 气候突变后伊犁河谷两熟制作物种植区的变化及风险分析[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 516-521.

[17] 符淙斌,王 强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(6): 482-493.

[18] 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.

[19] 郑小波,罗翔翔,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.

[20] 沈学年,刘巽浩. 多熟种植[M]. 北京:农业出版社, 1983: 48-92.

[21] 刘巽浩,邹超亚,李凤超. 耕作学[M]. 北京:中国农业出版社, 1992: 97.

[22] 王立祥,李 军,徐文修. 等. 农作学[M]. 北京:科学出版社, 2003: 136.

[23] 张学文,张家宝. 新疆气象手册[M]. 北京:气象出版社, 2006.

[24] 周伟东,朱洁华,李 军,等. 华东地区热量资源的气候变化特征[J]. 资源科学, 2009, 31(3): 472-478.

[25] WANG Shaopeng, WANG Zhiheng, PIAO Shilong. Regional differences in the timing of recent air warming during the past four decades in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(19): 1968-1973.

参 考 文 献:

[1] 宫丽娟,王晨轶,王 萍,等.东北三省玉米气候适宜度变化分析[J].玉米科学,2013,21(5):140-146.

[2] 罗怀良,陈国阶.四川洪雅县农业气候适宜度评价[J].农业现代化研究,2001,22(5):279-282.

[3] 景毅刚,高茂盛,范建忠,等.陕西关中冬小麦气候适宜度分析[J].西北农业学报,2013,22(8):27-32.

[4] 赵 峰,千怀遂,焦士兴.农作物气候适宜度模型研究——以河南省冬小麦为例[J].资源科学,2003,25(6):77-82.

[5] 徐学选,高 鹏,蒋定生.延安降水对农作物生长适宜性的模糊分析[J].水土保持研究,2000,7(2):73-76,118.

[6] 魏瑞江,张文宗,康西言,等.河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):5-9.

[7] 魏瑞江,李春强,姚树然.农作物气候适宜度实时判定系统[J].气象科技,2006,34(2):229-232.

[8] 任玉玉,千怀遂,刘青青.河南省棉花气候适宜度分析[J].农业现代化研究,2004,25(3):231-235.

[9] 黄淑娥,田 俊,吴慧峻.江西省双季水稻生长季气候适宜度评价分析[J].中国农业气象,2012, 33(4):527-533.

[10] 张建军,马晓群,许 莹.安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用[J].气象,2013, 39(1):88-93.

[11] 齐 斌,余卫东,袁建昱,等.河南省棉花精细化农业气候区划[J].中国农业气象,2011,32(4):571-575.

[12] 代立芹,李春强,魏瑞江.河北省夏玉米气候适宜度及其变化特征分析[J].生态环境学报,2011, 20(6):1031-1036.

[13] 田 俊,黄淑娥,祝必琴,等.江西双季早稻气候适宜度小波分析[J].江西农业大学学报,2012, 34(4):646-651,670.

[14] 蒲金涌,姚小英,姚茹莘.近 40 年甘肃河东地区夏秋作物气候适宜性变化[J].干旱地区农业研究,2011,29(5):253-258.

[15] 朱新玉,刘 杰,史本林,等.气候变暖背景下中原腹地冬小麦气候适宜度变化[J].地理研究,2012,31(8):1479-1489.

[16] 魏瑞江,宋迎波,王 鑫.基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J].应用气象学报,2009,20(5):622-627.

[17] 李曼华,薛晓萍,李鸿怡.基于气候适宜度指数的山东省冬小麦产量动态预报[J].中国农学通报,2012, 28(12):291-295.

[18] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等.基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J].气象与环境科学,2008,31(2):21-24.

[19] 景毅刚,高茂盛,范建忠,等.陕西关中冬小麦气候适宜度分析[J].西北农业学报,2013,22(8):27-32.

[20] 任玉玉,千怀遂.河南省棉花气候适宜度变化趋势分析[J].应用气象学报,2006,17(1):87-93.

[21] 姚树然,王 鑫,李二杰.河北省棉花气候适宜度及其时空变化趋势分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):24-29.

[22] 赖纯佳,千怀遂,段海来,等.淮河流域双季稻气候适宜度及其变化趋势[J].生态学杂志,2009,28(11):2339-2346.

[23] 李昊宇,王建林,郑昌玲,等.气候适宜度在华北冬小麦发育期预报中的应用[J].气象,2012,38(12):1554-1559.

[24] 李树岩,彭记永,刘荣花.基于气候适宜度的河南夏玉米发育期预报模型[J].中国农业气象,2013, 34(5):576-581.

[25] 孙小龙,闫伟兄,武荣盛,等.基于气候适宜度建立河套灌区玉米生育期模拟模型[J].中国农业气象,2014,35(1):62-67.

[26] 侯英雨,王良宇,毛留喜,等.基于气候适宜度的东北地区春玉米发育期模拟模型[J].生态学杂志,2012,31(9):2431-2436.

[27] 柳 芳,薛庆禹,黎贞发.天津棉花气候适宜度变化特征及其产量动态预报[J].中国农业气象,2014,35(1):48-54.

[28] 宋迎波,王建林,李昊宇,等.冬小麦气候适宜诊断指标确定方法探讨[J].气象,2013,39(6):768-773.

[29] 张建军,马晓群,许 莹.安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用[J].气象,2013,39(1):88-93.

[30] 宋迎波,王建林,杨霁云,等.粮食安全气象服务[M].北京:气象出版社,2006,28-31.

[31] 马树庆.吉林省农业气候研究[M].北京:气象出版社,1994, 33.

[32] 钱永兰,吕厚荃.2013 年秋收作物生长季农业气象条件评价[J].中国农业气象,2014,35(1):116-118.

[33] 谭方颖,赵秀兰,张 蕾.2014 年冬小麦、油菜全生育期农业气象条件评价[J].中国农业气象,2014,35(4):482-484.

[34] 娄秀荣,沙奕卓.1997 年夏季(6—8 月)气候对农业生产的影响[J].中国农业气象,1997,18(6):51-53.

(上接第 233 页)

[26] 马建勇,潘 婕,姜 江,等.北疆地区 1955—2009 年气温、降水变化特征的时间序列分析[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(2):18-24.

[27] 叶殿秀,张 勇.1961—2007 年我国霜冻变化特征[J].应用气象学报,2008,19(6):661-665.

[28] 李 兰,杜 军,宋玉玲,等.近 45 年来新疆 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间积温和降水量的变化特征[J].中国农业气象,2010,31(增 1):35-39.

[29] 李克南,杨晓光,刘志娟,等.全球气候变化对中国种植制度可能影响分析Ⅲ.中国北方地区气候资源变化特征及其对种植制度界限的可能影响[J].中国农业科学,2010,43(10):2088-2097.

[30] 张立波,景元书,陈传雷.1960—2010 年中国华北东北地区热量资源时空变化[J].气象与环境学报,2014,30(1):80-87.

[31] 张厚瑄.中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题Ⅰ:气候变化对我国种植制度的影响[J].中国农业气象,2000,21(1):9-13.

[32] 赖先齐,刘建国,李鲁华,等.发展绿洲多熟种植是新疆农业结构调整的切入点[J].新疆农垦科技,2001,(6):5-8.