

# 中国近三十年持续性农业气象灾害指标 时空分布特征

韩明臣<sup>1</sup>, 梁玉莲<sup>2</sup>, 王化儒<sup>3</sup>

(1. 广西壮族自治区林业勘测设计院, 广西南宁 530028; 2. 南宁市气象局, 广西南宁 530028;

3. 黄河水资源保护科学研究院, 河南郑州 450004)

**摘 要:**基于 1981—2010 年中国 756 个标准气象台站的地面观测数据, 选取表征农业气象灾害的气象要素指标, 采用 GIS 技术揭示我国近 30 年主要农业气象灾害的分布现状, 并对其在 30 年内的变化进行趋势分析。结果表明: 近 30 年内, 持续高温呈增加趋势, 持续极端高温的显著增加区域出现在西北地区、东南和华南沿海区域, 防止高温热浪对农作物造成伤害的重点应该放在这些区域。持续低温、春季寒冷指数和冬季积寒量均呈减小趋势, 这 3 个指标的显著减小区域多出现在中纬度地区。中纬度地区对全球变暖的显著响应使得该区域作物的种植北界北抬, 利于温带作物生长域拓宽和产量提升。2 个表征水分的农业气象灾害指标中, 极端降水强度在近 30 年内未显示出明显的变化趋势; 持续无降水日数则表现出显著增加趋势。总体来看, 我国受干旱灾害性天气的影响程度明显增加, 有必要通过兴修水利、补充灌溉等农业措施保证农作物的用水补给。

**关键词:**农业; 极端气象灾害; 指标; 时空分布; 趋势分析; 中国

**中图分类号:**S 162 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)24-0196-06

受自然变化与人类活动的共同影响, 全球气候变暖已经成为一个不争的事实<sup>[1-3]</sup>。然而, 全球变暖所表现出的并不是一个直线的趋势, 而是在局地极端气候增多、灾害性天气增加等事件的伴随中震荡发展<sup>[4-6]</sup>。极端气候及局地灾害性天气的发生(暴雨洪涝、干旱、高温热害、寒冻害等)对当地农业产生的影响更为直接, 也更引起人们的关注。我国是农业大国, 多年来, 如何减轻由极端气象灾害给农业造成的损失是政府和社会组织需要解决的紧迫问题, 而气象科学家们也一直在努力找寻和掌握在极端天气气候作用下气候灾害发生的规律, 但大多通过对单一极端气象灾害指标进行定义和统计分析的方式展开研究, 如百分位指数(如降雨量 95% 分位值)、绝对指数(如某月最高温)、绝对阈值指数(每年的霜冻日数)、持续时间指数(如最长干旱持续天数)、总量描述指数(如总降水量年变化)等<sup>[5-10]</sup>, 这些指标往往只对极端时间的频率、强度、持续时间或阶段性总量有单一指示意义, 而且只从气象学意义和统计学意义上选

取, 并未很好的与农业生产和农业经济发展联系在一起, 不能全面反映极端天气事件对农业所产生的危害性与其严重性。因而, 该研究摒弃传统的极端气候指标, 试图寻找与农业生产更为相关的、能全面描述极端气候事件的持续性指标进行分析, 旨在为人们能够合理利用农业气候资源, 减小极端气候灾害对农业的影响提供科学依据。

## 1 材料与方法

相对于瞬时性的极端天气, 持续性的极端天气气候灾害才是影响植物生长发育的最主要因素, 故主要选取持续性的极端气候灾害进行分析(表 1)。现以国家气象信息中心提供的 1981—2010 年全国 756 个气象站点的温度和降水数据为数据源, 计算得出的这些极端气象灾害因子近 30 年的气候值, 插值到全国  $1^\circ \times 1^\circ$  的格点上,

表 1 极端农业气象灾害指标定义

Table 1 Definition of extreme agrometeorological disasters index

名称 Name	定义 Definition	时间尺度 Time scale	单位 Unit
连续高温日数 Continuous high temperature days	$T_{\max} \geq 35^\circ\text{C} \geq 3 \text{ d}$	年	d
连续低温日数 Continuous low temperature days	$T_{\min} \leq 5^\circ\text{C} \geq 3 \text{ d}$	年	d
春季(3—5 月)寒冷指数 Spring coldness index	$\sum T_{\text{mean-mon}} \leq 5^\circ\text{C}$	年	$^\circ\text{C}$
冬季(12—2 月)积寒量 Winter cold accumulation	$\sum T_{\text{mean-day}} \leq 5^\circ\text{C}$	年	$^\circ\text{C}$
最大过程降水强度 Precipitation intensity	$Pr_{\text{max/rain-day}}$	年	mm
连续最大连续无雨日数 Continuous no rainfall days	$Pr \leq 0.1 \text{ mm}$	年	d

**第一作者简介:**韩明臣(1984-), 男, 山东安丘人, 博士, 工程师, 现主要从事森林资源与环境监测评价等研究工作。E-mail: xinyue\_644@163.com.

**基金项目:**国家重大科学研究计划资助项目(2012CB95570003)。

**收稿日期:**2014-09-04

得出我国极端气象灾害分布现状特征,并用最小二乘法对各站的极端气象灾害指标进行相关趋势回归分析,采用  $t$  检验法对其变化趋势进行显著性检验。

### 1.1 持续高温日数与持续低温日数

持续高温和持续低温为表征极端温度对农业造成灾害的气象要素指标。持续高温以日最高温连续 3 d 以上  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  为一个过程,课题组统计每年的日最高温  $\text{TMAX} \geq 35^{\circ}\text{C}$  天数  $\text{TNUMMAX}_j$  作为年内极端高温事件发生程度指标,  $\text{TNUMMAX}_j$  越大,该年内高温热浪天气影响程度越严重。持续高温日数是反映极端高温对农作物造成影响的重要指标。同样,持续低温以日最低温连续 3 d 以上  $\leq 5^{\circ}\text{C}$  为一个过程,课题组统计每年的日最低温  $\text{TMIN} \leq 5^{\circ}\text{C}$  天数  $\text{TNUMMIN}_j$  作为描述每年连续低温的程度指标,则  $\text{TNUMMIN}_j$  越大,该年内持续低温的影响越严重。持续低温是反映极端低温对农作物造成影响的重要指标。

### 1.2 春季寒冷指数与冬季积寒总量

春季寒冷指数和冬季积寒量是反映负积温对农业造成灾害的气象要素指标,是热量不足作用于作物的一种表现形式。春季寒冷指数指的是一个地区在春季(3—5月),月均温  $\leq 5^{\circ}\text{C}$  的温度总和,则每一站点每一年的春季寒冷指数可表为:

$$\text{SCI}_j = \sum_{i=1}^n (5 - \text{TMON}_i) (\text{TMON}_i \leq 5^{\circ}\text{C}) \quad (1),$$

式中,  $\text{SCI}_j$  为某站点该年度的春季寒冷指数,  $\text{TMON}_i$  为某站点每年 3—5 月之间月均温  $\leq 5^{\circ}\text{C}$  的温度值。

冬季积寒总量指的是一个地区在冬季(12—2月),日均温  $\leq 5^{\circ}\text{C}$  的温度总和,则每一站点每年的冬季积寒总量可表为:

$$\text{WCA}_j = \sum_{i=1}^n (5 - \text{TMEAN}_i) (\text{TMEAN}_i \leq 5^{\circ}\text{C}) \quad (2),$$

式中,  $\text{WCA}_j$  为某站点该年度的冬季积寒总量,  $\text{TMEAN}_i$  为某站点每年 12 月至翌年 2 月之间日均温  $\leq 5^{\circ}\text{C}$  的温度值。

### 1.3 最大连续降水强度及最大持续无降水日数

连续无雨日数和持续降水强度是分别表征旱涝灾害对农业造成影响的重要指标。将年内有日雨量  $\text{Pr} \geq 1 \text{ mm}$  且持续降水达 3 d 以上的每一次降水视为 1 个降水过程,统计年内最大连续降水日数和最大过程雨量(持续性降水总和)。降水强度(Precipitation Intensity, PI)是某一过程雨量及其持续日数的比值,从每一次降水过程的强度计算结果中选出最大的降水强度  $\text{PIMAX}_j$  作为该年度的降水强度:

$$\text{PIMAX}_j = \text{MAX} \{ \text{PSUM}_i / \text{PDAY}_i \} \quad (3),$$

式中,  $\text{PIMAX}_j$  为某站点该年度的降水强度,  $\text{PSUM}_i$  为该年度某个过程雨量,  $\text{PDAY}_i$  为其持续天数,

$i=1, 2, \dots, n$ , 为年内降雨过程发生次数。最大降水强度是可以综合说明极端降水量级和降水持续性,是反映暴雨洪涝灾害的综合指标。

连续无降水日数(Continuous no rainfall days)指的是持续无有效降水( $\text{Pr} < 1 \text{ mm}$ )过程的天数,最大连续无降水日数即年内日雨量持续 1 mm 的最大天数。它直接反映了干旱灾害发生的程度。

## 2 结果与分析

### 2.1 持续高温日数与持续低温日数

近 30 年内,我国持续高温事件达到 10 d 以上的地区主要分布在我国西北的新疆地区以及长江中下游以南的南方地区(图 1 左);持续最长的区域出现在新疆东南部的塔里木盆地周围和云南南部局部地区,年持续高温时常在 30 d 以上;其次是长江以南的区域,年持续高温时常在 20 d 以上。高温热浪对农业影响的防范重点主要放在这些区域内。其余地区持续高温日数在 10 d 以下,对农作物的影响较小,可以不作为防御重点。尤其是青藏高原和东北地区分别因海拔高和纬度高而温度相对较低,很少出现极端高温现象,该地区的主要农业气象灾害并不是因高温而引起。

选取站点该年出现持续高温日数最长的一次持续过程作为最大持续高温日数进行相关趋势回归分析,有连续 20 年以上的有效站点 201 个,主要集中分布在中国东南、华南以及西北地区(图 1 右)。通过显著性检验的 73 个,通过率达 36.3%。其中呈增加趋势的有 71 个,表现为减少的仅有 2 个,说明我国持续高温灾害以增加趋势为主,这与全球气候变暖大趋势一致<sup>[3-7]</sup>。在江南华南沿海片区的通过率比在西北地区的通过率要高,江南华南片区的持续高温日数增加趋势与气候变化相关的显著性比西北地区要高。我国西北地区的主要作物是小麦和棉花,而高温热害对小麦灌浆的产量形成带来不利影响,也是棉花蕾铃脱落的重要原因,高温热浪灾害在该区域作用的增加趋势不容忽视。而在江南华南沿海片区,高温热害则主要影响该地区的水稻和果蔬的正常生长和开花结实,目前针对高温热害最简单的防治方法是采用喷灌等“以水调温”的措施,设法降低田土温度和作物叶片温度,增大植株间的空气湿度,以适应作物生长发育的要求。

近 30 年内,除华南沿海珠三角以及海南省外,我国大部份地区持续低温事件均在 10 d 以上(图 2 左)。持续低温事件的高值中心出现在青藏高原东北部,该区域由于海拔高,常年冰雪覆盖,年连续低温时长达 300 d 以上,其次为东北地区,年持续低温总时长在 200 d 以上。长江中下游以南地区的年持续低温总时长则在 10~100 d,可以认为,我国大部份地区的农作物生长和农业生产均受到持续低温灾害的影响。而广西、广东南部沿

海及海南省地区属亚热带、热带季风气候,常年温暖湿润,几乎没有持续低温事件的发生。

选取站点年内出现持续低温日数最长的一次过程作为最大持续低温日数,并对其进行相关趋势回归分析,有连续 20 年以上的有效站点 606 个,通过显著性检验的 238 个,通过率达 39.3%(图 2 右)。其中趋势显示为增加的有 234 个,我国最大持续低温灾害以减小趋势为主。中纬度地区通过显著性检验的站点比例最高,也就是说,中原地区以及长江中下游一带的持续低温灾害减小最为显著,而在华南一带,尽管在气候变暖的大背

景下,该地区极端天气气候事件发生的不稳定性并未减小,其最大持续低温灾害影响的变化趋势并不显著。与持续高温灾害不同的是,因不同区域的种植作物不同,对低温时间的响应也不同,并不能简单的认为持续低温的时间越短,对农业生产的影响就越小;相反,在相对温暖的区域所种植的暖温带和亚热带作物,更容易受到持续性极端低温灾害的影响,近年来持续低温阴雨和冰冻雨雪天气就对南方地区农业产生了严重的影响<sup>[11-12]</sup>。因此,持续低温灾害的防御重点反而应该放在相对比较温暖的南方地区。

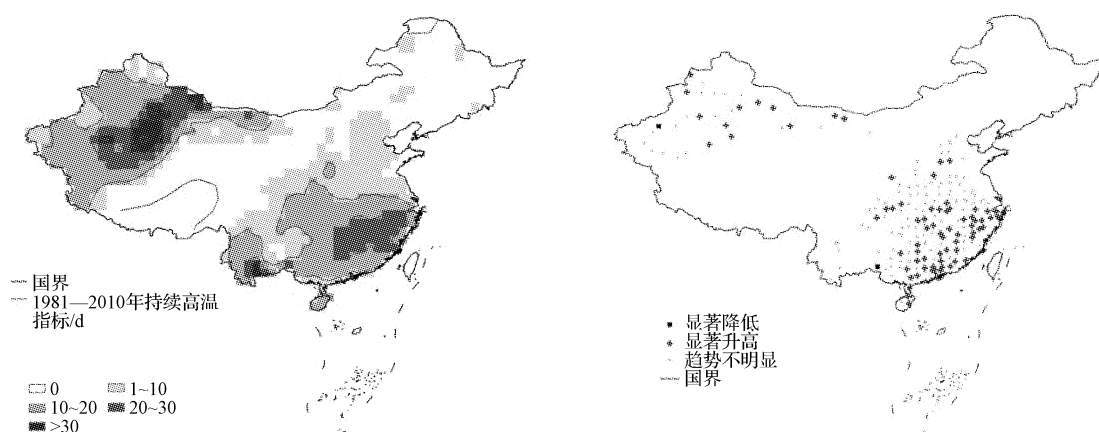


图 1 中国近 30 年持续高温日数气候值空间分布(左)及最大持续高温日数趋势检验(右)

Fig. 1 Spatial distribution of China continuous high temperature days in the latest 30 years(left) and trend test of maximum continuous high temperature days(right)

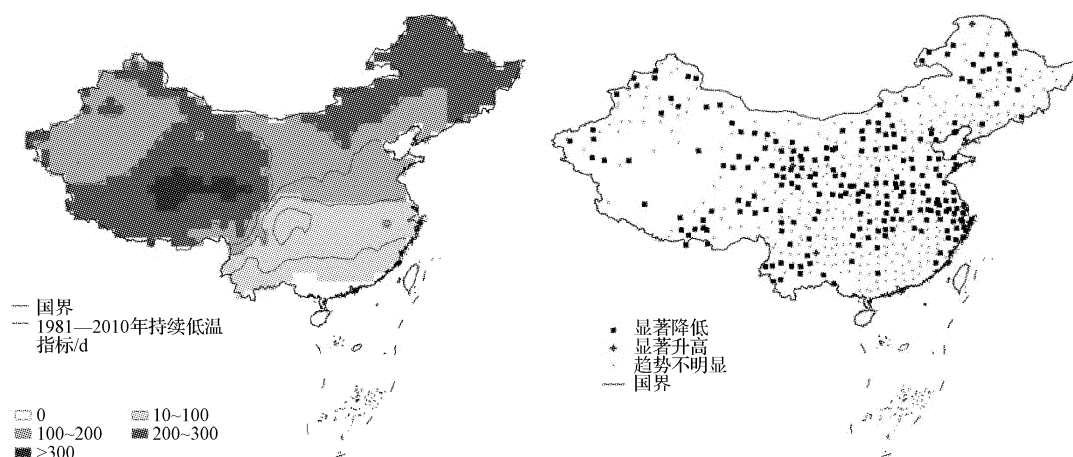


图 2 中国近 30 年持续低温日数气候值空间分布(左)及最大持续低温日数趋势检验(右)

Fig. 2 Spatial distribution of China continuous low temperature days in the latest 30 years(left) and trend test of maximum continuous low temperature days(right)

## 2.2 春季寒冷指数与冬季积寒总量

春季寒冷指数的 0℃等值线的西端基本以秦岭为界,东端则北退到山东以北(图 3 左)。可以说,春季寒冷指数在 0℃等值线以南并无意义,因而春季寒冷指数是只适用于我国北方地区的一个地域性极端积寒量指标。

春季寒冷指数的 2 个最高值区分别出现在东北北部和青藏高原山区,春季寒冷指数大于 15℃以上。

对春季寒冷指数进行相关趋势回归分析,有连续 20 年以上的有效站点 294 个,通过显著性检验的 120 个,通过率达 40.8%(图 3 右)。通过显著性检验的站点集中



在我国中部和西部地区,变化趋势全显示为减小,该区域的春季寒冷指数在近 30 年显著减小;而东北地区均

未通过显著性检验,其春季寒冷指数的变化趋势并不显著。

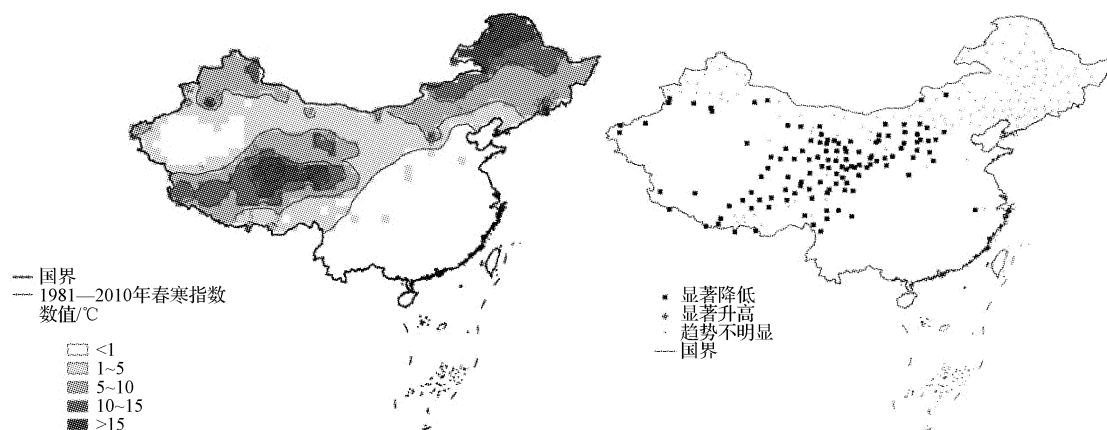


图 3 中国近 30 年春季寒冷指数气候值空间分布(左)及春季寒冷指数趋势检验(右)

Fig. 3 Spatial distribution of China spring coldness index in the latest 30 years(left) and trend test of spring coldness index(right)

冬季积寒量则在全国范围内均有值(图 4 左)。冬季积寒量在 500℃以上的等值线分布与春季寒冷指数的 0℃等值线空间分布形态基本一致;其最高值区仅有 1 个,位于东北北部,达 2 000℃以上。冬季积寒量在年均 500℃以下对农业生产的影响也不大,只是 1 个适用于我国北方地区的地域性极端气象灾害指标。

对冬季积寒量进行相关趋势回归分析,有连续 20 年以上的有效站点 593 个,通过显著性检验的 228 个,通过率达 38.4%(图 4 右)。通过显著性检验的站点集中在我国中部的华北和西北的青海、甘肃等地,变化趋势

全显示为减小。我国近 30 年内冬季积寒量显著减小的区域出现在华北和黄淮沿海以及甘肃、青海和西藏东南,其余地区的冬季积寒量变化并不显著。

春季寒冷指数和冬季积寒量的减小趋势也从侧面反映了冬春两季作物生长所需的热量积累呈增加趋势,从热量需求而言,这对我国北方地区冬春两季作物的生长是利好趋势。尤其在黄河沿线地区,积寒量的减少使得对热量需求较高的作物分布北界北抬,而在其原分布的边缘地带产量也因此有所提升,如冬小麦等。

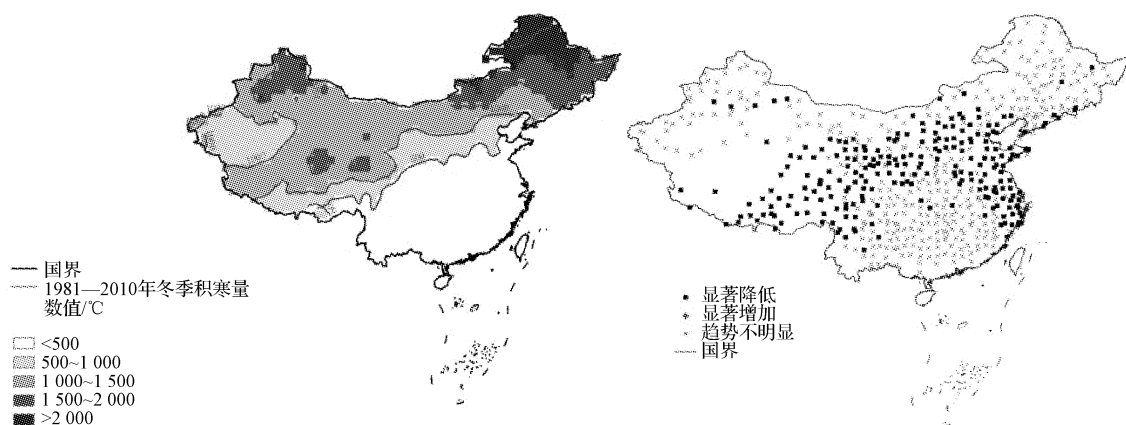


图 4 中国近 30 年冬季积寒量气候值空间分布(左)及冬季积寒量趋势检验(右)

Fig. 4 Spatial distribution of China winter cold accumulation in the latest 30 years(left) and trend test of winter cold accumulation(right)

### 2.3 最大连续降水强度及最大持续无降水日数

持续降水强度的大值区出现在我国东南、华南及沿海地区,最大持续降水强度达 50 mm/d 以上,达到暴雨级别(图 5 左)。最大降水强度的空间分布形态主要受降水量分布基本量分布的影响,这与有关研究结论基本一致<sup>[13]</sup>。

对持续降水有连续 20 年以上观测数据的共 650 个站点进行相关趋势系数计算,变化趋势显著的站点只有 36 个,通过率仅为 5.5%;其中显著减少的 14 个,多集中在西北三江原一带;显著增加的 12 个,分布较为分散(图 5 右)。作物受持续性强降水的灾害的影响在三江原一带明显减小,这可能与该地区降水量总体变化趋势减

小<sup>[14]</sup>有关,持续强降水并不是该区域的主要农业气象灾害。除三江原地区以外,我国其余地区持续降水强度的变化在近 30 年内的变化整体并不显著。近 30 年来,我

国持续强降水的变化趋势与降水量的变化趋势<sup>[15-16]</sup>并不完全一致。在持续强降水级别较高的地区,其对农业生产和农作物生长的影响仍不可忽视。

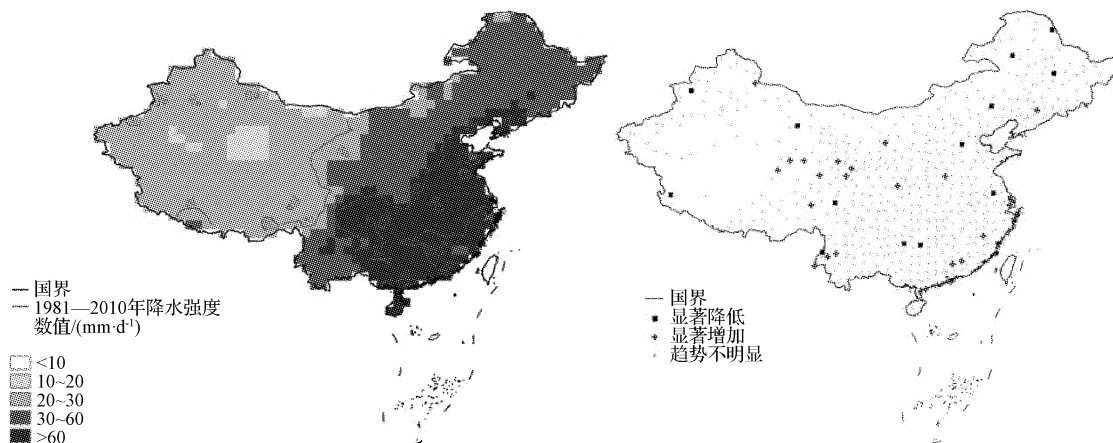


图 5 中国近 30 年持续降水强度气候均值空间分布(左)及最大降水强度趋势检验(右)

Fig. 5 Spatial distribution of China precipitation intensity in the latest 30 years(left) and trend test of precipitation intensity(right)

相应的持续最大无降水的高值区出现在西部地区,新疆和西藏的大部地区持续最大无降水日数几乎全在 30 d 以上(图 6 左)。最大持续无降水日数的空间分布形态主要受降水量分布基本量分布的影响<sup>[13]</sup>。

对最大持续无降水日数进行相关趋势回归分析,有连续 20 年以上的站点 650 个,通过显著性检验的 602

个,通过率达 92.3%(图 6 右)。且变化趋势全显示为增加。持续干旱灾害对我国大部分区域的农业生产均有影响,且干旱灾害增加趋势明显。因而,蓄水为农,增加人工灌溉的作用区域和作用程度是将来农业生产建设投入的重中之重。

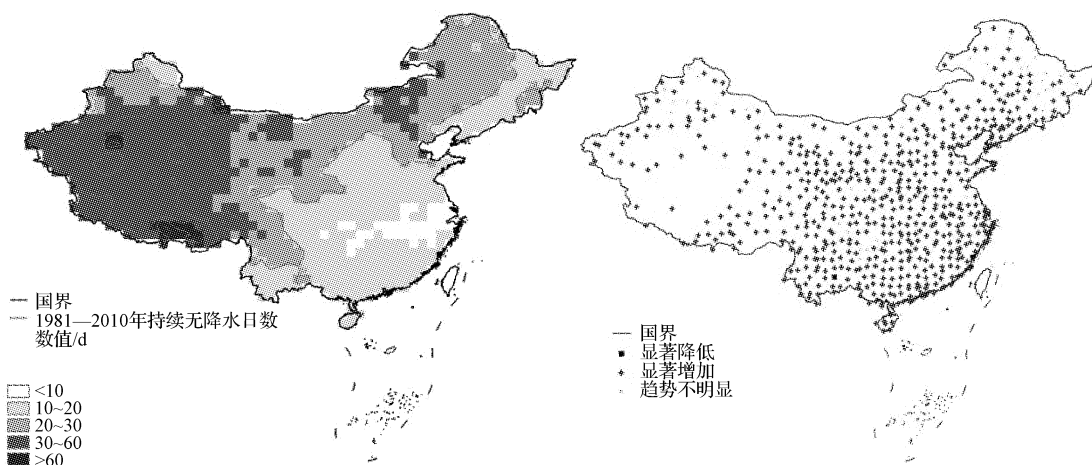


图 6 中国近 30 年最大持续无降水日数气候均值空间分布(左)及最大持续无降水日数趋势检验(右)

Fig. 6 Spatial distribution of China continuous no rainfall days in the latest 30 years(left) and trend test of continuous no rainfall days(right)

### 3 结论与讨论

近 30 年来,我国持续高温和持续低温事件的空间分布基本相反,其变化趋势也有明显差异,持续高温事件呈增加趋势,持续高温显著增加区域出现在东南和华南沿海区域;持续低温事件总体呈减少趋势,持续低温的显著减小区域多出现在中纬度地区,而低纬度地区的持续低温并没有表现出显著的增减趋势。因而防止高

温热浪对农作物造成伤害的重点应该放在持续极端高温的显著增加的西北地区、东南和华南沿海等区域,而持续低温灾害的防御重点反而应该放在相对比较温暖的南方地区。

春季寒冷指数和冬季积寒量是反映负积温对农业造成灾害的区域性指标,其在近 30 年内均呈减小趋势,且显著减小区域亦出现在中纬度地区。在气候变暖大

背景下,中纬度地区的极端天气气候灾害对这种气候变化的响应更为显著。从热量角度而言,这一响应使得该区域作物的种植北界北抬,利于温带作物生长域的拓宽和产量的提升。

极端降水强度和持续无降水日数的空间分布形态主要受降水量分布的影响,极端降水强度在近 30 年内未显示出明显的变化趋势;持续无降水日数显示为显著增加趋势,表明我国干旱灾害性天气的影响程度呈增加趋势。如何解决干旱对农业的影响是农业建设的重中之重。兴修水利、补充灌溉等农业措施及保证农作物的用水补给在新的气候变化形势下更为必要。

### 参考文献

- [1] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京:科学出版社,2011:20-24.
- [2] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象,2004,23(2):238-244.
- [3] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. Cambridge: The Press Syndicate of Cambridge University, 2001:365.
- [4] 胡宜昌,董文杰,何勇. 21 世纪初极端天气气候事件研究进展[J]. 地球科学进展,2007,22(10):1067-1075.
- [5] 房世波,阳晶晶,周广胜. 30 年来我国农业气象灾害变化趋势和分布特征[J]. 自然灾害学报,2011(5):69-73.

- [6] Santos C, Neale C, Rao T, et al. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA[J]. Int J Climate, 2011, 12(31):1813-1822.
- [7] 马柱国,符淙斌,任小波,等. 中国北方极端温度的变化趋势与区域增暖的联系[J]. 地理学报,2003,58(增刊):11-20.
- [8] 张倩,赵艳霞,王春乙. 我国主要农业气象灾害指标研究进展[J]. 自然灾害学报,2010(6):40-54.
- [9] 邹旭恺,任国玉,张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):371-378.
- [10] Osborn T J, Hulme M, Jones P D, et al. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20(4):347-364.
- [11] 姚峰峰,张时煌,杨医,等. 冰冻雨雪灾害对江西林业影响的评估技术探讨[J]. 自然资源学报,2009(9):1657-1666.
- [12] 周慧,朱国强,禹伟,等. 湖南 2008 年极端冰冻特大灾害成因分析及影响评估[J]. 灾害学,2009(1):80-85.
- [13] Bai A, Zhai P, Liu X, et al. Climatology and trends in wet spell China[J]. Theor Appl Climatol, 2007, 88:137-148.
- [14] 唐红玉,杨小丹,王希娟,等. 三江源地区近 50 年降水变化分析[J]. 高原气象,2007(1):7-54.
- [15] Wang Y, Yan Z. Trends in seasonal precipitation over China during 1961—2007[J]. Atmos Ocean Sci Lett, 2009(2):65-171.
- [16] 闵岫,钱永甫. 我国近 40 年各类降水事件的变化趋势[J]. 中山大学学报(自然科学版),2008(3):105-111.

## Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Persistence Agrometeorological Disaster Indexes of China in the Latest 30 Years

HAN Ming-chen<sup>1</sup>, LIANG Yu-lian<sup>2</sup>, WANG Hua-ru<sup>3</sup>

(1. Guangxi Forest Inventory and Planning Institute, Nanning, Guangxi 530028; 2 Nanning Meteorological Service, Nanning, Guangxi 530028; 3. Water Resource Protection Academy of Yellow River, Zhengzhou, Henan 450004)

**Abstract:** Based on observational data of 756 meteorological stations from 1981 to 2010, the meteorological element indexes which representing agro-meteorological disaster were chosen to analyzing the temporal and spatial distribution and its change characteristics of agrometeorological disasters in 1981—2010 using the GIS technology and the trend analysis method. The results showed that the continuous high temperature days presented a trend of increasing in the latest 30 years, and the highest increase amplitude were present to the coastal regions of southeast china, southern china and northwest china. The prevention emphasis of heat waves influence on crop should be in these regions. The continuous low temperature days, spring coldness index and winter cold accumulation were decreased overall. Significantly decrease area of these three indexes was mainly turning up in the mid-latitude region. The northern planting boundary of crop had extended to north due to middle latitude region response to global warming and was beneficial to the growing domain widening and yield enhancement of temperate crops. Under the background of global warming, the extreme climate disasters in the mid-latitude region were more significantly response to climate change. Precipitation intensity did not show an obvious trend in the latest 30 years while continuous no rainfall days were significantly increased. The extent of drought disaster in China was increased in the latest 30 years. Water conservancy construction and supplementary irrigation were necessary to ensure water supply of crops.

**Keywords:** agriculture; extreme meteorological disasters; indexes; spatial and temporal distribution; trend analysis; China