

气候变化对中国农业旱灾损失率的影响及其 南北区域差异性^{* 1}

张强^{1,2,4} 韩兰英^{1,3,4} 郝小翠³ 韩涛³ 贾建英³ 林婧婧³

ZHANG Qiang^{1,2,4} HAN Lanying^{1,3,4} HAO Xiaocui³ HAN Tao³ JIA Jianying³ Lin Jingjing³

1. 中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州, 730020
2. 甘肃省气象局, 兰州, 730020
3. 西北区域气候中心, 兰州, 730020
4. 兰州大学大气科学学院, 兰州, 730000

1. *Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/ Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of CMA /Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China*

2. *Meteorology Bureau of Gansu, Lanzhou 730020, China*

3. *Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China*

4. *College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*

2015-06-16 收稿, 2015-09-21 改回.

张强, 韩兰英, 郝晓翠, 韩涛, 贾建英, 林婧婧. 2015. 气候变化对中国农业旱灾损失率的影响及其南北区域差异性. 气象学报, 73(6): 1092-1103

Zhang Qiang, Han Lanying, Hao Xiaocui, Han Tao, Jia Jianying, Lin Jingjing. 2015. On the impact of the climate change on the agricultural disaster loss caused by drought in China and the regional differences between the North and the South. *Acta Meteorologica Sinica*, 73(6): 1092-1103

Abstract The impact of drought on agricultural production is getting worse and worse in China under the climate change, but due to the complexity and its significant regional differences of disaster loss caused by drought, the understanding of the law and the mechanism for the agricultural loss caused by drought are very limited. In this paper, using the data of Chinese agricultural drought disaster and the conventional meteorological data since 1961, a more systematic analysis of the disaster loss index trends is made, such as the different intensity disaster ratios and the comprehensive agricultural loss rate caused by the agricultural drought, and the regional differences in the North and the South of the past 50 years. We researched the characteristics that the temperature mutation have the effects on the agricultural loss caused by drought since 1990s, we discussed also the dependence between the comprehensive agricultural loss rate and the climatic factors of temperature and precipitation, as well as the distribution characteristic of the agricultural loss rate in the climatic space. The results showed that the comprehensive agricultural loss rate increased by an average of 0.5% per decade in the past 50 years, and the risk increased significantly under the climate change. Moreover, the comprehensive loss rate is increased by about 0.6% per decade in the North, higher one time than the South, with the increasing of risk faster significantly than the South. The North agricultural drought disaster can occur in a loose temperatures condition, and it occurred in the years with the higher temperatures in the South. And, the warming trend is increasing clearly after the temperature mutation, with the national comprehensive loss rate is increased by about 0.9%, and higher significantly risk; and the increment is 1.8% in the North, about four times higher than the South, sugges-

* 资助课题: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2013CB430206)、国家自然科学基金重点项目(40830597)。

通讯作者: 韩兰英, 主要从事气候变化影响、干旱灾害风险评估等研究。E-mail: sthan07@hotmail.com

ting that the North climatic mutation has more prominent impact on the agricultural drought disaster risk than the South. The response of the North comprehensive loss rate to precipitation is more sensitive than the South, but the South is more sensitive in terms of temperature. Meanwhile, the impact of the key periods temperature and precipitation for the comprehensive loss rate is more significant than the annual; in the key periods the North is more prominent in terms of precipitation than the South. These new scientific understanding has important implications for agricultural drought disaster prevention in China.

Key words Climate change, Agricultural drought, Disaster loss rate, Response and characteristics, North-South differences

摘 要 在全球变暖背景下,干旱灾害对中国农业生产的影响日益严重,然而由于旱灾损失的复杂性及其显著的区域差异,至今对中国农业旱灾损失规律及其影响机制的认识十分有限。文中利用1961年以来中国农业干旱灾害的灾情资料和常规气象资料,系统分析了近50年来中国农业干旱灾害不同受灾强度分布比率和综合损失率等指标的变化趋势及其在北方和南方的区域差异,研究了20世纪90年代的气温突变对农业旱灾损失率的影响特征,探讨了农业旱灾综合损失率对气温和降水等气候要素变化的依赖关系及其在气候空间的分布特征。结果发现,在气候变化背景下,近50年来中国农业旱灾综合损失率平均每10 a约增加0.5%,风险明显增大。而且,北方综合损失率每10 a约增加0.6%,高出南方1倍,风险增大的速度明显比南方快;北方农业旱灾几乎在很宽松的气温条件下就可以发生,而南方更多发生在气温较高的年份。并且,在气温突变后,变化趋势明显加剧,全中国综合损失率约增加了0.9%,风险明显增高;而且北方综合损失率的增值高达1.8%,是南方的4倍还多,气候突变对北方农业旱灾风险的影响明显比南方更凸出。综合损失率在北方对降水变化的响应要更敏感,而在南方对气温变化的响应更敏感。同时,关键影响期降水对综合损失率的影响比全年降水影响更显著;北方的关键影响期作用比南方更凸出。这些新的科学认识对中国农业旱灾防御具有重要意义。

关键词 气候变化, 农业干旱灾害, 灾损率, 响应规律, 南北差异

中图法分类号 P426.616

1 引 言

中国是全球旱灾最频发国家之一(张强等,2011)。旱灾损失占自然灾害的15%以上(李茂松等,2003),干旱面积更是高达自然灾害受灾总面积的57%左右,旱灾发生频次约占总灾害频次的1/3(黄荣辉等,2010),均为各类自然灾害之首(张强等,2014)。而且,中国还是暴露在旱灾危险区人口最多的国家,近亿人口常年受旱灾威胁(张强等,2014)。中国各地均可能发生干旱,每年平均旱灾面积达 $0.2 \times 10^8 \text{ hm}^2$,约占中国耕地总面积的1/6(陈方藻等,2011),社会经济发展和农业生产严重受旱灾风险制约(张强等,2014)。所以深入认识中国旱灾风险规律和影响机制具有十分重要的现实意义。

与世界大多数地区相比,中国对全球气候变化的响应更加敏感(黄荣辉等,2010)。在全球气候变化背景下,重大干旱事件正呈现明显增加趋势,旱灾的风险在不断增大(孙荣强,1993;杨志勇等,2011;Dai,2010),旱灾对社会经济和农业生产的影响持续加重(顾颖等,2010;马柱国,2007;Neelin, et al, 2006;吴绍洪等,2011)。同时,由于干旱风险影响因子之间的相互作用,旱灾形成和发展过程具有明显的非线性特点(韩兰英等,2014),旱灾风险的影响机

制比较复杂(Huang, et al,1998)。而且,由于受大地形和夏季风活动的共同影响,中国气候环境的空间分布极不均匀,气候环境南北区域差异十分明显,旱灾风险的南北特征不同(马柱国,2007)。有研究表明,旱灾发生与纬向分布之间有相似关系(孙荣强,1993;杨志勇等,2011;Dai,2010)。

农业生产活动对气候依赖十分凸出,受旱灾影响尤其显著。中国农业生产因旱灾造成的损失十分严重(顾颖等,2010;方红远等,2005;张强等,2012),粮食减产幅度占总减产量的4.7%以上(Neelin, et al,2006),比其他自然灾害的危害都大。据不完全统计,1949—2005年,因旱灾造成每年粮食损失 $100 \times 10^8 \text{ kg}$ (程静等,2010)。同时,农业又是气候变化的高影响行业,气候变化导致旱灾风险致灾因子、承灾体和孕灾环境不仅发生了显著变化,而且多种因素叠加效应正在使农业干旱灾害风险加剧,农业生产的不确定性增大,严重威胁中国粮食安全(张强等,2012;朱增勇等,2009;徐新创等,2011)。实行旱灾风险管理不仅可以有效防控干旱灾害风险,而且还可以充分发挥抗旱资金和资源效益(Andersen, et al,2001)。在中国现代干旱防灾、减灾体系中,风险管理的理念正日益加强(张相文,1908),管理方式正在从单纯以减灾为主要目的的被动性、应急

性的危机管理方式向以防灾为主要目的主动的、制度化的风险管理方式转变(Neelin, et al, 2006), 这已成为中国旱灾防御体系科学化发展的必然趋势。

然而, 开展干旱灾害风险管理不仅需要建立科学有效的旱灾风险管理制度体系, 而且更为重要的是需要建立旱灾风险管理的技术体系, 要能够在技术上准确识别旱灾风险分布特征和变化趋势, 及时提出旱灾风险防控策略, 采取具有针对性的旱灾风险防控措施(翁白莎等, 2010)。总体而言, 中外自 20 世纪 80 年代开始对旱灾风险研究, 目前已取得了较多的研究成果(Zhang, et al, 2015; Han, et al, 2015)。然而, 由于中国农业旱灾的复杂性和区域差异以及在气候变化背景下的异常性, 至今对中国农业旱灾风险规律的科学认识十分有限, 对农业旱灾风险影响机制理解非常肤浅, 制约了中国农业旱灾防御能力和风险管理水平的提高。

目前, 对旱灾风险的评估主要有基于灾害学原理的风险因子分析法和历史灾情概率统计的经验规律分析法。经验规律分析法虽然缺少对旱灾风险内在机理的考虑, 但它避免了因子分析法中风险因子权重的主观性和随意性缺陷, 可以直接通过对灾情实况资料的统计分析直观认识旱灾风险的客观特征。因此, 文中试图通过对中国农业旱灾不同受灾强度分布比率和综合损失等灾损率指标变化趋势及其与气温和降水等气候要素变化关系的分析, 研究中国旱灾损失率的变化特征及其南北区域差异特征, 揭示旱灾损失率对全球气候变化的响应规律, 对中国农业旱灾风险变化特征及其气候影响机制形成基本认识, 为提高中国旱灾风险管理水平提供科学依据。

2 资料和分析方法

本研究利用了中国 1961 年以来省级农业干旱灾情资料、农作物种植面积及降水和气温等气象观测数据。这些数据资料主要来源于《中国统计年鉴》和《中国农业统计资料》及中国国家气象资料数据库, 这期间农业干旱灾情资料统计相对比较规范, 气象观测站网布局基本稳定。在分析中, 根据现有灾情资料将农业干旱定义为轻度、中度和重度等 3 级。其中, 轻度以上旱灾是指当年因旱灾导致农作物产量较正常年份减产 1 成以上的农作物播种面积, 中度以上旱灾是指当年农作物产量较正常年份减少 3

成以上的农作物播种面积, 重度以上旱灾是指当年农作物产量较正常年份减少 7 成以上的农作物播种面积。由此, 农业旱灾损失率的指标可以定义为

$$I_1 = (D_1/A) \times 100\% \quad (1)$$

$$I_2 = (D_2/A) \times 100\% \quad (2)$$

$$I_3 = (D_3/A) \times 100\% \quad (3)$$

式中, I_1 是轻度以上农业旱灾面积比率, I_2 是中度以上农业旱灾面积比率, I_3 是重度以上农业旱灾面积比率。这些不同灾损率指标表示了不同强度旱灾面积的分布比率。 D_1 、 D_2 和 D_3 分别是轻度以上、中度上和重度以上农业旱灾面积, 单位为 km^2 ; A 为农作物种植总面积, 单位为 km^2 。为了便于分析, 还构建了表示农业旱灾综合灾损率的指标(韩兰英等, 2014; 徐新创等, 2011):

$$I_A = I_3 \times 99\% + (I_2 - I_3) \times 55\% + (I_1 - I_2) \times 20\% \quad (4)$$

式中, I_A 是农业旱灾的综合损失率, 单位为 %。式(4)反映不同程度干旱的权重组合, 单位面积上受灾程度越重所占的权重就越大, 该指标表示了某个区域农业干旱灾害的总体灾损程度。

由于中国环境和气候南北分界比较分明, 故此将中国农业旱灾变化趋势划分为南方和北方两大区域分析。19 世纪初, 张相文(1908)就对中国南方与北方的划分提出了“秦岭—淮河线”划分理论, 首次明确界定了中国南方与北方的地理自然分界线。就今天而言, 这种对中国南北方分界线的确定方法无论从地理角度还是从气候角度仍然比较合理。如图 1 所示, 根据张相文的南北方划分原则利用地理信息系统数据提取出了中国南北分界线的分布。同时, 由于青藏高原的气候系统具有明显的独立性, 并且其观测站网也不够完善, 干旱灾情统计资料也不太完整, 所以特意将青藏高原排除在研究范围之外, 按照图 1 中所界定的范围进行统计分析干旱灾情和气象资料, 由于灾情资料的空间尺度是省级, 南北方区域主要依据秦岭和淮河为界, 部分省市跨界线依据所在省份的气候条件确定南北方。

3 农业旱灾损失率变化趋势及其南北区域特征

近 50 年是全球气候变化最显著的时段。从图 2 给出的 1961—2011 年中国南方、北方及全国气温距平和降水距平百分率变化趋势可以看出, 中国气

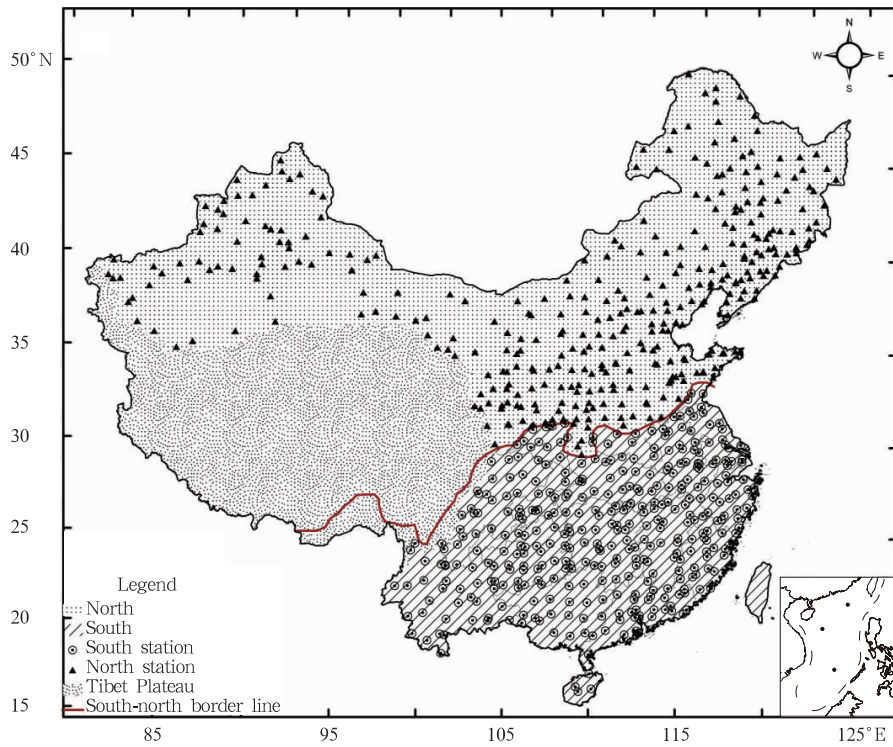


图 1 中国南方和北方界线分布

Fig. 1 Line of demarcation between northern and southern China

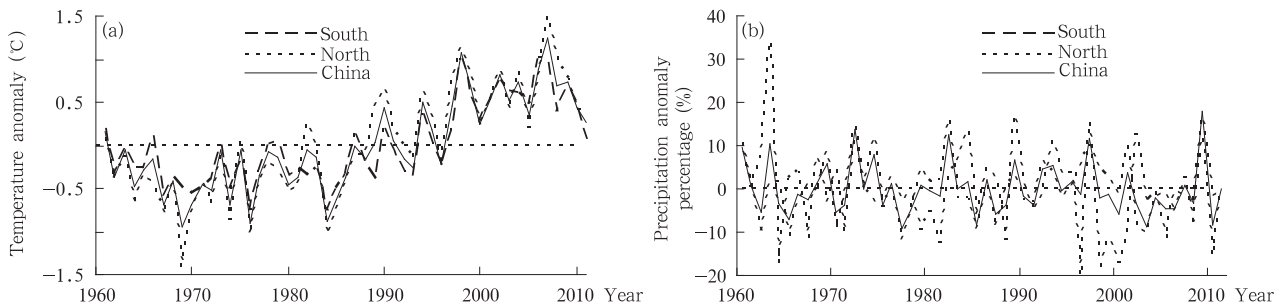


图 2 中国南方、北方和全国气温距平(a)、降水距平百分率(b)变化趋势

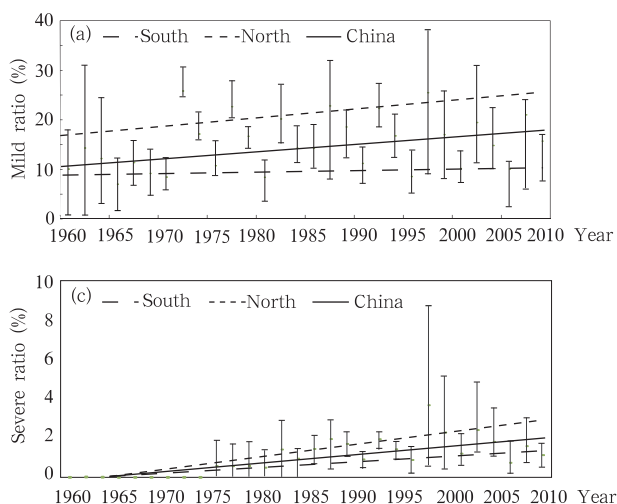
Fig. 2 Average temperatures anomalies based on the whole period or the period of 1960 – 2010 (a) and precipitation anomaly percentage during 1960 – 2010 (b)

候变化趋势也是如此,无论南方和北方变暖趋势均比较明显。但相比而言,北方变暖趋势和年际波动比南方更大一些。并且,南方和北方降水虽然都没有表现出明显的增加或减少趋势,但年际波动性有所增大,而且北方的年际波动比南方更大,气候状态更不稳定。

这种区域气候变化趋势及其南北差异必然会影 响中国农业旱灾特征(黄会平,2008;IPCC,2014)。图 3 表明,就全中国而言,轻度以上、中度以上和重 度以上农业旱灾比率近 50 年分别平均为 14.1%、

6.5% 和 1.0% 左右,与发达国家相比更加严重 (IPCC,2014),在全球属于旱灾风险比较高的区域。 尤其值得注意的是,近 50 年来农业旱灾轻度以上、 中度以上和重度以上比率均有所增大,相关系数 $|r| > r_{0.05}$,表明这种上升趋势在 $\alpha = 0.05$ 显著性 水平上是显著的,而且旱灾等级越强增加得越快,这 说明不仅干旱范围在不断扩大,而且干旱强度也在 不断增大。并且,相比而言,北方农业旱灾轻度以 上、中度以上和重度以上比率近 50 年分别平均为 18.9%、8.9% 和 1.3%,而南方分别只有 9.2%、

4.0%和0.7%左右,北方农业旱灾轻度以上、中度以上和重度以上比率均比南方高出1倍左右。不仅如此,北方旱灾损失率增大趋势也比南方的更快,而且旱灾程度越强北方比南方增速更快的特征就越明



显。这说明在气候变化背景下中国北方干旱灾害影响范围和影响程度的加剧趋势都比南方更凸出,这与南北气候态差异及其气候变化趋势差异有关。

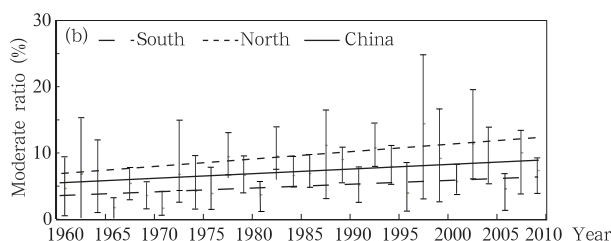


图3 近50年中国南方、北方和全国农业旱灾轻度以上(a)、中度以上(b)和重度以上比率(c)变化趋势

Fig. 3 Percentage of the slight droughts (a), moderate droughts (b), and severe droughts (c)

for 1960 - 2010

从图4也可以看出,农业旱灾综合损失率全中国平均约为5.4%,但南方和北方分别平均约为3.5%和7.4%,北方也比南方高1倍还多。近50年来,全中国农业干旱综合损失率约增大了2.6%,平均每10 a增加0.5%左右,旱灾风险明显增大。而且,综合损失率变化趋势的南北差异性也比较明显,近50年来南方综合损失率增加了不到1.7%,平均每10 a只增加0.3%左右;而北方增加幅度高达3.1%左右,平均每10 a增加0.6%左右,增幅比南方高1.4%,增加率比南方大1倍左右。北方旱灾风险性明显比南方高,增速也比南方快。农业旱灾综合损失率总体表现出与农业旱灾轻度、中度和重度比率类似的趋势特征。

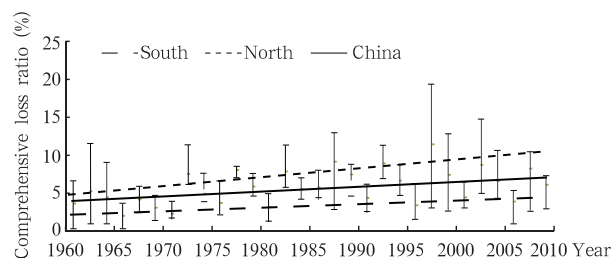


图4 近50年南方、北方和全国农业旱灾综合损失率变化趋势

Fig. 4 Changes in the agricultural drought comprehensive loss rate in the South, the North, and China for 1960 - 2010

气温和降水是农业生产最重要的气候要素,也是农业旱灾最主要的致灾因素,农业旱灾损失率在很大程度上受这两个因素共同控制(王静爱等,2002;黄荣辉等,2010)。为了便于分析,文中依据农业旱灾综合损失率将小于3%的年份定义为轻灾年,将3%—6%的年份定义为中灾年,将大于6%的年份定义为重灾年。图5是南方和北方农业旱灾综合损失率在温度和降水物理空间的分布特征。由图可见,南北方可能造成农业旱灾损失的气候态不

同,在南北方旱灾损失可能出现的气候态范围内,北方中度和重度比率分界限明显比南方偏右,这就说明在北方的灾损出现的特定气候态内,灾损的范围比南方大,比南方更容易发生旱灾。具体而言,在南方中灾年份分布的象限空间的年降水小于1200 mm和年平均气温高于16.2℃,重灾年份分布的象限空间的年降水小于1180 mm和年平均气温高于16.4℃;而在北方重灾年份和中灾年份分布范围几乎不受温度条件约束,在任何温度空间范围都会出现,但主要依赖降水条件,中灾年份分布的象限空间

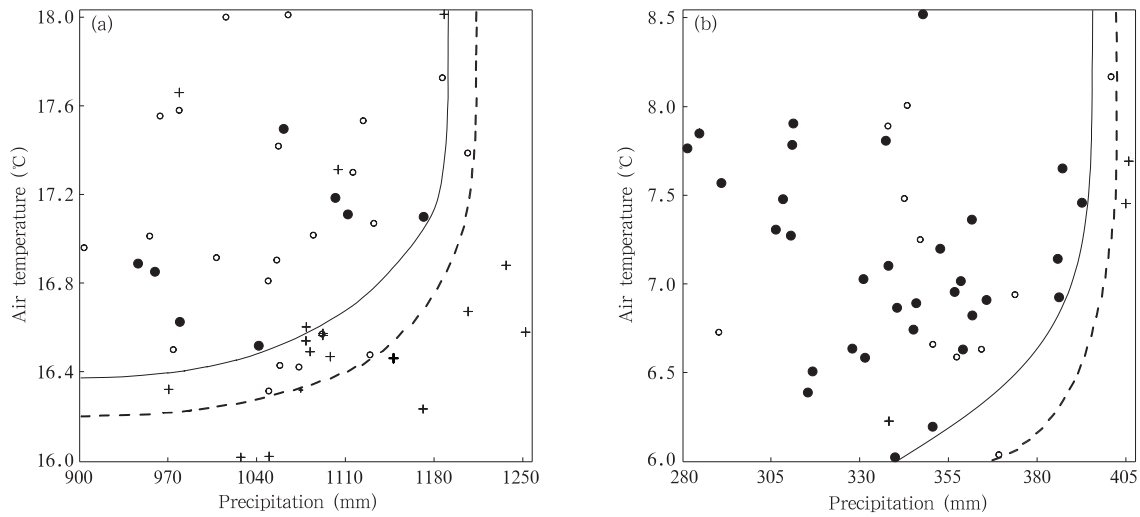


图 5 中国南方(a)和北方(b)农业旱灾综合损失率在气温和降水物理空间的分布特征
(+ 为轻度比率, ○为中度比率, ●为重度比率; 实线为重度比率分界限, 虚线为中度比率以上分界限)

Fig. 5 Distribution characteristics of the agricultural drought comprehensive loss rate in the South (a) and the North (b) in the physical space that formed by temperature and precipitation (Crosses stand for mild droughts, dark circles stand for moderate droughts, and open circles stand for severe droughts. The dotted line demarcates the conditions under which moderate droughts occur. The solid line demarcates the conditions under which severe droughts occur)

的年降水量小于 400 mm, 重灾年份分布的象限空间的年降水量小于 390 mm。这说明北方农业干旱灾害所依赖的温度条件明显比南方宽松。

4 农业旱灾损失率对气候变化的响应

为了凸出气候变化的影响, 文中特意对升温趋势进行了突变分析(图略)。从近 50 年来气温突变分析得出, 自 20 世纪 80 年代气温开始升高, 20 世纪 90 年代升温趋势十分显著。南方、北方和全国的气温突变点分别出现在 1996、1991 和 1997 年, 南方气温突变比北方迟了 5 a。对比图 2 可以得出, 气温突变后不仅气温显著升高, 而且升温速度也明显比突变前更快。

通过对气温突变前后农业旱灾损失率的对比分析, 可以更加直观地了解气候变化对农业旱灾损失率的影响。图 6 表明, 气温突变前中国农业旱灾中度和重度比率及综合损失率分别为 5.9%、0.6% 和 5.1%; 而突变后分别增大为 7.5%、1.7% 和 6.0%, 分别增加了 1.6、1.1 和 0.9 个百分点, 越重的灾害增幅越大, 受气温突变影响越显著。从气温突变前后各类灾损率的差值来看, 北方的中度旱灾比率的差值高达 2.9%, 是南方的 3 倍多; 重度的高达

1.6%, 也是南方的 3 倍多; 综合损失率的差值高达 1.8%, 更是南方的 4 倍还多。已有研究(黄荣辉等, 2010)表明, 由于气候变化, 中国北方的西北东部、华北和东北南部以及南方的西南地区干旱更加严重, 这说明北方农业受旱灾的影响要比南方表现得更强, 受气候变化影响也更大, 这也符合中国农业的实际情况。

由于气候变化, 华北地区在 20 世纪 80—90 年代的年平均降水量减少, 发生长期干旱导致旱灾损失更加严重。为了详细了解气温突变对中国农业旱灾损失率的影响, 统计出气温突变前后中国农业干旱灾害中度和重度比率及综合损失率差值(表 1), 由表 1 可见, 由于受气候变化的影响, 突变前后农业干旱灾损率变化十分明显。气温突变后, 全中国绝大部分地方农业干旱灾害中度比率明显增大(只有湖南和河南的极少部分地区有微量降低), 重度比率在全国范围都在增大, 综合损失的情况与农业干旱灾害中度比率更加类似。并且, 中国北方与南方气温突变前后农业干旱灾损率变化幅度的区域差异很大, 突变后北方干旱灾损率增幅要明显比南方大。南方农业干旱灾害综合损失率的差值范围为 -0.92%—4.9%, 北方为 -0.9%—8.4%; 南方农

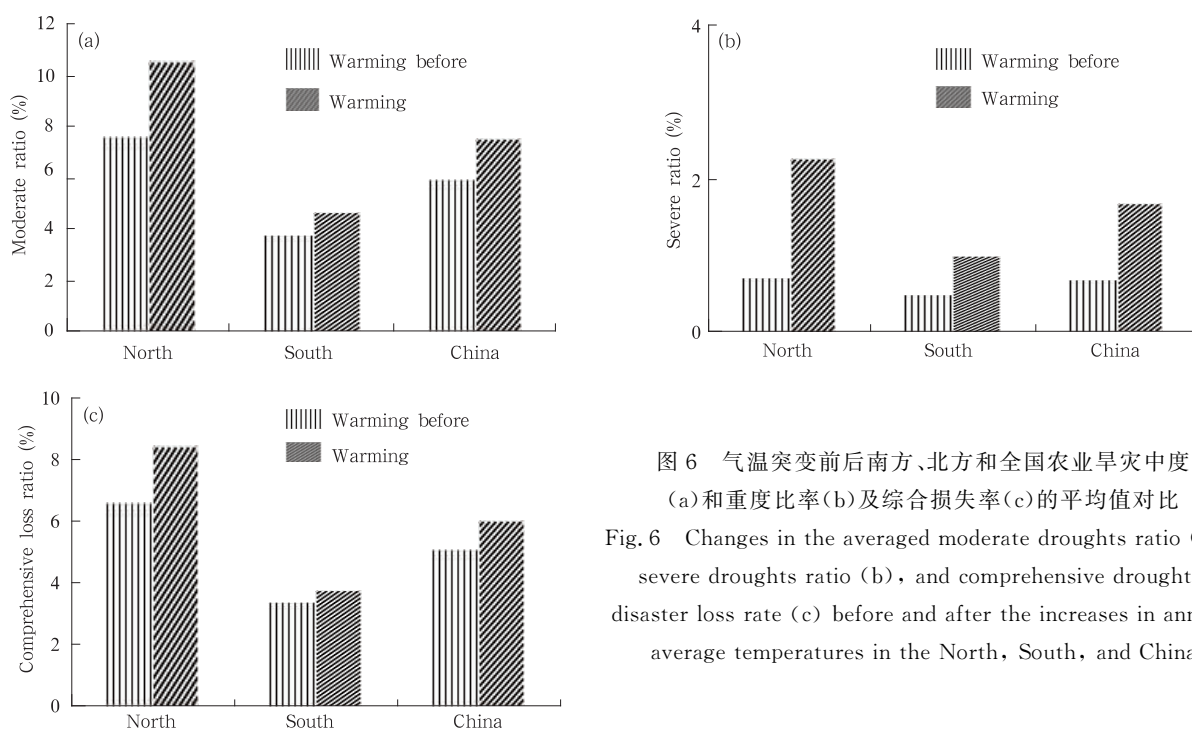


图6 气温突变前后南方、北方和全国农业旱灾中度(a)和重度比率(b)及综合损失率(c)的平均值对比
Fig. 6 Changes in the averaged moderate droughts ratio (a), severe droughts ratio (b), and comprehensive droughts disaster loss rate (c) before and after the increases in annual average temperatures in the North, South, and China

表1 气温突变前后中国农业旱灾中度和重度比率及综合损失率差值

Table 1 Changes in the D-value for the moderate droughts disaster percentage, severe droughts disaster percentage, and comprehensive droughts disaster percentage before and after the rise in average annual temperatures in the various provinces in China

省份	综合损失率(%)	中度比率(%)	重度比率(%)	省份	综合损失率(%)	中度比率(%)	重度比率(%)
甘肃	8.37	11.44	2.97	贵州	1.40	1.89	1.45
吉林	8.15	11.16	3.86	四川	1.35	2.38	3.89
内蒙古	7.59	9.33	4.78	江苏	1.31	2.29	0.30
青海	7.54	10.55	2.11	湖北	0.97	1.97	0.61
辽宁	7.32	9.83	3.57	安徽	0.88	2.21	0.83
山西	6.34	8.45	4.28	浙江	0.84	1.51	0.46
宁夏	6.33	7.56	3.47	江西	0.27	0.70	0.39
陕西	6.31	8.79	2.79	上海	0.21	0.12	0.00
黑龙江	5.17	6.89	1.99	广西	0.19	0.95	0.40
天津	4.22	4.81	1.71	广东	0.12	0.60	0.19
海南	3.90	4.50	0.56	福建	0.12	0.26	1.18
云南	3.60	4.86	1.49	华中	0.10	0.53	0.62
北京	2.08	3.07	0.70	山东	-0.14	0.46	0.83
新疆	2.07	3.37	0.56	湖南	-0.77	-0.92	0.64
河北	1.57	2.97	1.63	河南	-0.96	-0.29	0.39

业旱灾中度比率的差值范围为 -0.92% — 4.9% ,而北方的在 -0.29% — 11.4% ;南方农业旱灾重度比率的差值范围在 0 — 3.9% ,而北方的在 0.39% — 4.8% ,说明气温突变后,农业旱灾重度比率增大幅度北方普遍超过南方,中度比率和综合损失率南方的局部降低比北方明显,而北方局部升高比南方明显。

图7进一步表明,无论是全中国还是南方和北

方,综合损失率均与平均气温成正相关。但相比而言,南方和北方综合损失率分别随气温升高变化比较明显,而全中国随气温升高变化却并不明显。气温每升高 1°C ,南方和北方综合损失率分别增大 0.93% 和 0.94% ,相关系数分别为 0.25 和 0.22 。而全中国气温每升高 1°C ,综合损失率仅增大 0.67% 左右,相关系数也只有 0.16 ,相关系数均通过了 0.1 的信度检验。

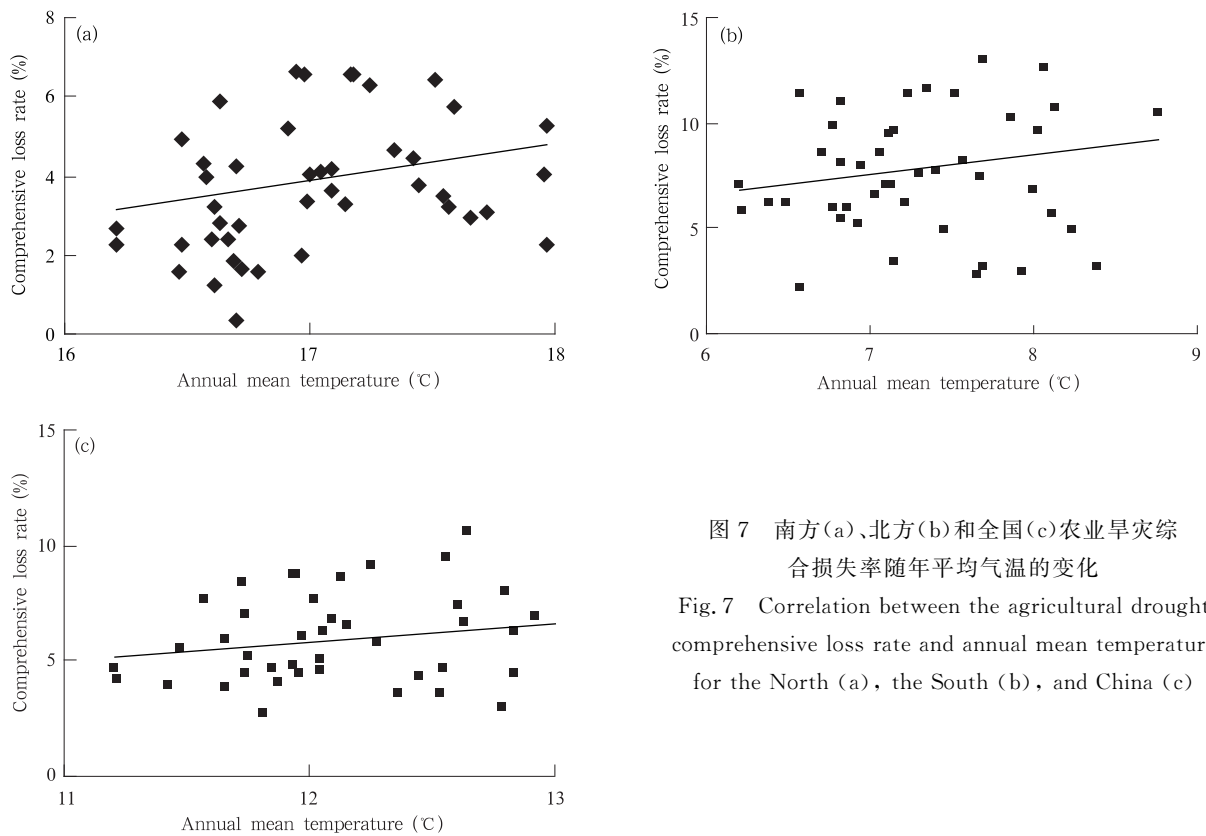


图7 南方(a)、北方(b)和全国(c)农业旱灾综合损失率随年平均气温的变化
Fig. 7 Correlation between the agricultural drought comprehensive loss rate and annual mean temperature for the North (a), the South (b), and China (c)

由图8中国南方、北方和全国农业综合损失率随降水的变化可以看出,农业旱灾综合损失率与降水量成负相关,而且明显比与气温的相关性好,这说明降水对中国农业旱灾的影响比气温更大。相比来看,年降水量每减少100 mm,南方综合损失率大约只增大0.76%,而北方大约要增加5.5%,增加速度几乎比南方大了一个量级。而且,南方旱灾综合损失率与降水的相关系数只有-0.37,而北方的高达-0.63,相关系数均通过了0.1的信度检验。可见降水变化对中国北方农业干旱致灾的主导性远比南方强。

与气温的关系类似,全中国农业旱灾综合损失率与降水的相关系数只有-0.30,也比南方和北方分别计算的都低。这充分说明,农业旱灾综合损失率无论与气温还是与降水的关系都具有明显的南北区域性,而全中国总体平均会部分掩盖或平滑了它们的本质关系。

对于干旱,主要是降水的变化趋势影响较大,通过对图7的分析也可以看出,灾损率与气温的相关系数较低,所以,后文主要以降水为主分析气候变化对灾损的影响。从图7和8可以发现,农业旱灾综

合损失率无论与降水还是气温的关系都相对比较离散,相关系数也不高,这虽然与气温和降水的耦合影响作用有一定关系,但更主要的原因是在全年往往只有某些关键时段的气温和降水变化对农业旱灾影响比较显著,不少时段的气温和降水变化对农业旱灾其实并不很重要,甚至个别时段还会出现与总的的影响效果相反的影响特征。图9给出的农业旱灾综合损失率与月降水量的相关系数分布曲线表明:总体而言,综合损失率与月降水量的相关性大多数月份北方都比南方大。尤其值得注意的是,农业旱灾综合损失率与月降水量的相关系数分布很不均匀,与个别月份降水量的相关系数已经与年降水总量的相关系数比较接近。而且,农业旱灾综合损失率与极个别月份的平均降水量的相关性还会出现与全年总体相关性相反的情况。这说明降水对农业旱灾综合损失率的影响主要表现在一些关键影响期,这与前面的推测是一致的。

具体而言,南方农业旱灾综合损失率与月降水量的相关系数在4、6—8和10月超过了-0.2,在4、6和7月甚至达到了-0.27,但在2和3月表现出与全年相反的相关性;而在北方综合损失率与月

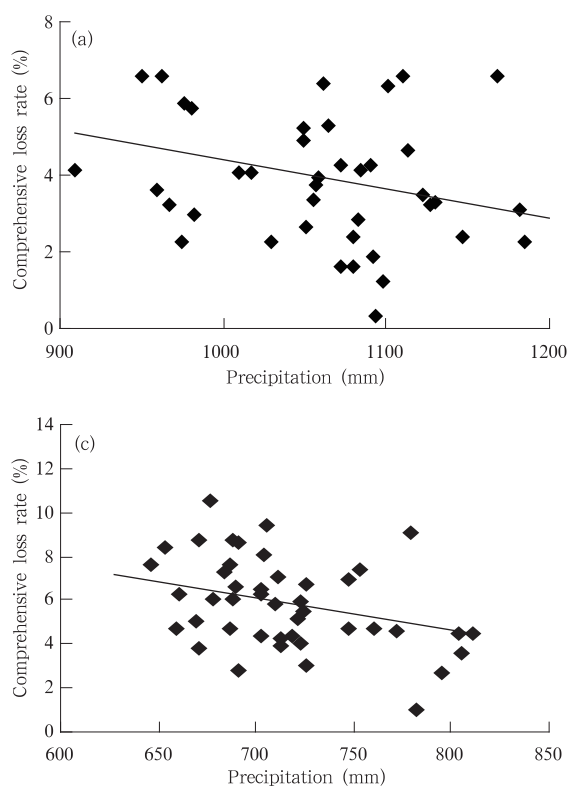


图8 南方(a)、北方(b)和全国(c)农业旱灾综合损失率随年降水量的变化关系

Fig. 8 Correlation between the agricultural drought comprehensive loss rate and precipitation for the North (a), the South (b), and China (c)

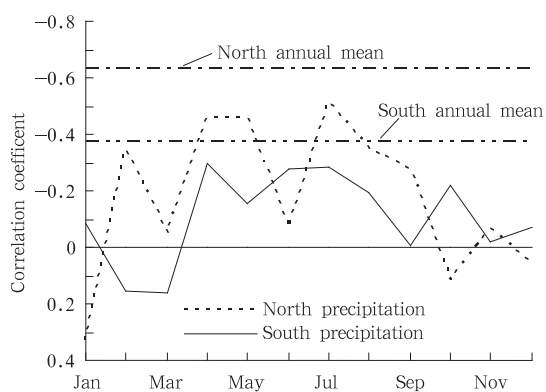


图9 南方和北方农业旱灾综合损失率与月降水量相关系数的分布曲线

Fig. 9 Correlation coefficients of the agricultural drought comprehensive loss rate with the average monthly precipitation in the South and the North

降水量的相关系数在2、4、5、7和8月均超过了-0.30,在4、5、7月甚至超过了-0.45,但在1、10和12月表现出与全年相反的相关性。这说明,南方春夏季降水对农业旱灾至关重要,而北方后春和盛夏降水对农业旱灾更重要。农业旱灾综合损失率表现出的关键期降水的影响特征既与降水的季节分布

特征有关(图略),更与南方和北方农作物的生长特征有关。比如,北方4和5月是夏粮作物出苗和发育的关键时期,作物生长对水分的依赖性很强,即俗称“春雨贵如油”,所以农业干旱灾害综合损失率与月降水量的相关系数明显较高。

假如在全年10个月中将月平均降水量与农业旱灾综合损失率的相关系数大于某一临界值时的月份认为是降水对旱灾综合损失率能够进行有效影响的时期,这样就可以将月平均降水量与综合损失率的相关系数大于这个临界相关系数的所有月份的累积期定义为影响期,这个临界相关系数也可定义为影响期的临界相关系数,这里用 $R_c(P)$ 表示降水的影响期临界相关系数。一般而言,在影响期内,只有某些与旱灾综合损失率相关较高月份的降水对整个影响期降水与综合损失率做正贡献,而与旱灾综合损失率相关较低(或相反)月份的降水可能反而对整个影响期降水与综合损失率做负贡献。所以,如果影响期的临界相关系数较高,随着影响期临界相关系数降低即影响期扩大,影响期降水与综合损失率的相关系数会随之升高。但当影响期临界相关系数降低到一定程度后,随着影响期临界相关系数降低即影响期扩大,影响期降水与综合损失率的相关系

数反而会随之降低。影响期降水与综合损失率的相关系数由升转降,即对相关贡献由正转负时的影响期临界相关系数可称为关键影响期临界相关系数,影响期临界相关系数等于关键影响期临界相关系数的影响期就是关键影响期。

由图 10 农业旱灾综合损失率与影响期平均降

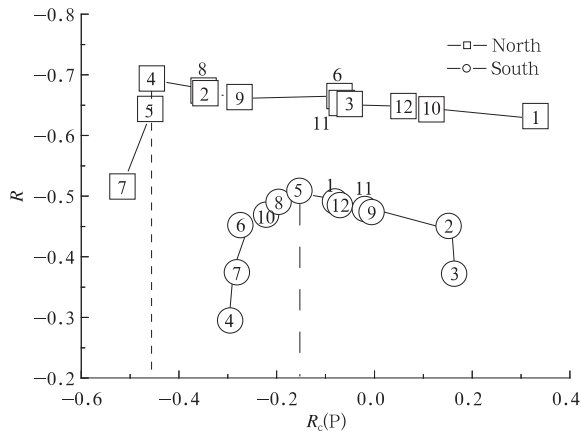


图 10 中国南方和北方农业旱灾综合损失率与影响期降水量的相关系数随影响期临界相关系数变化的分布特征 (从左向右第一个圈或框中的数字为影响期开始的月份,后面为影响期逐月延长的月份)

Fig. 10 Correlation coefficients (R) of the agricultural drought comprehensive loss rate for the North and the South and correlation coefficients of precipitation for ($R_c(P)$) each month of the year (months given as numbers)

水量的相关系数随影响期临界相关系数 $R_c(P)$ 变化的分布可见,南方农业旱灾综合损失率与影响期降水量的相关系数在影响期临界值相关系数为 -0.15 时达到峰值,这说明关键影响期在 4—8 和 10 月。而北方综合损失率与影响期降水量的相关系数在影响期临界相关系数为 0.46 时达到峰值,这说明关键影响期在 4、5 和 7 月。相比较而言,北方的关键影响期要比南方的更短,关键期的作用更凸出。

关键影响期平均降水量对综合损失率的影响无疑应该比全年平均降水量更显著。图 11 给出的农业旱灾综合损失率随关键影响期降水量的变化关系表明,虽然与图 8 相比农业旱灾综合损失率随降水量变化的总体趋势并没有改变,但无论是南方还是北方关键影响期降水与综合损失率的相关明显更高,综合损失率对关键影响期降水的响应明显比对全年平均降水的响应更敏感。南方综合损失率与关键影响降水的相关系数达到了 -0.51 ,比全年的超出了 -0.14 ;北方综合损失率与关键影响降水的相关系数达到了 -0.69 ,比全年的超出了 -0.07 。由此可以给出农业旱灾综合损失率与关键影响期降水量的线性拟合关系:

$$I_{A(S)} = -0.0745 \times \bar{P}_{K(S)} + 15.297 \quad (5)$$

$$I_{A(N)} = -0.3026 \times \bar{P}_{K(N)} + 24.68 \quad (6)$$

式中, $I_{A(S)}$ 、 $I_{A(N)}$ 分别是南方和北方农业旱灾的综合损失率,单位为%; $\bar{P}_{K(S)}$ 、 $\bar{P}_{K(N)}$ 分别是南方和北方关

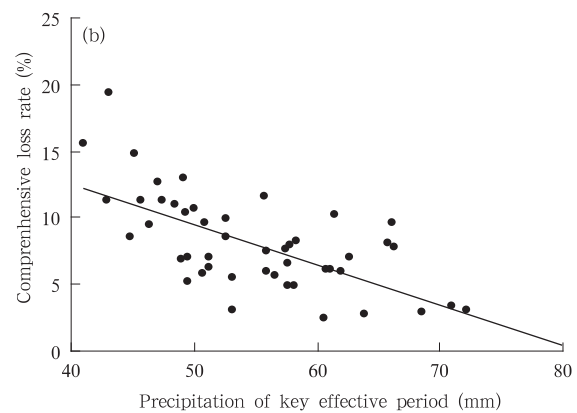
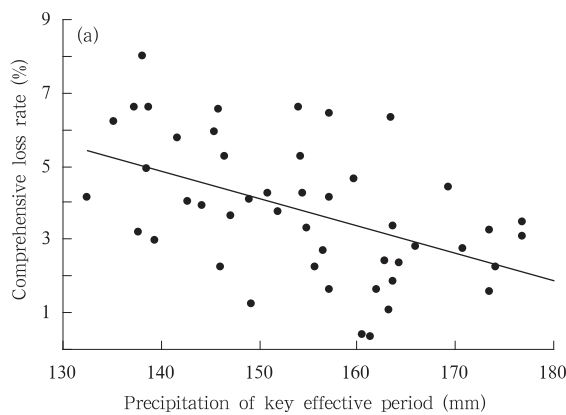


图 11 南方(a)和北方(b)农业旱灾综合损失率随关键影响期降水量变化关系

Fig. 11 Correlation between the agricultural drought comprehensive loss rate and critical periods for precipitation in the South (a) and the North (b)

键影响期月平均降水量,单位为 mm。式(5)和(6)均通过了 0.05 的信度检验。由这些关系式可见,关键影响期月平均降水每减少 10 mm,南方和北方旱灾损失率约分别增加 0.75 和 3.03 个百分点,远超过随全年平均降水增加得明显。

5 结论和讨论

中国农业旱灾的轻度、中度、重度比率和综合损失率平均分别为 14.1%、6.5%、1.0% 和 5.4%,是全球农业旱灾损失率较高和风险较大的地区之一。并且,在气候变化背景下,近 50 年来中国农业旱灾的轻度、中度和重度比率及综合损失率均显著增大,其中综合损失率平均每 10 a 增加 0.5% 左右,而且灾损越重的灾害增加幅度越大。总之,中国农业旱灾范围和强度均明显增大,风险显著增大。

中国气候和地理环境的南北差异十分明显,北方的升温趋势及其年际波动均比南方更大一些,由此造成中国北方农业旱灾的轻度、中度和重度比率及综合损失率均明显比南方高,增速也比南方更快,而且灾损越重的灾害北方比南方增速更快的特征越明显。北方农业旱灾影响范围和程度及其加剧趋势均比南方更显著。

在气温和降水构成的物理空间中,南方在高于 16.2℃ 的气温和年降水少于 1200 mm 的条件下才会出现中度以上农业旱灾,而北方几乎不受气温约束,只要在年降水少于 400 mm 的条件下就会出现。中国南方、北方和全国的农业旱灾综合损失率均随气温升高而升高,随降水的增大而降低。而且北方农业旱灾综合损失率受降水的影响比南方更显著,年降水量每减少 100 mm 综合损失率大约增大 5.5 个百分点,几乎比南方快 1 个量级。尤其在 20 世纪 90 年代气温突变后,全国农业旱灾的中度、重度比率和综合损失率分别增加了 1.6、1.1 和 0.9 个百分点,重度比率的增幅最大,受气温突变影响最显著。而且,气温突变后,北方农业干旱灾害中度、重度比率和综合损失率的增幅是南方的 3—4 倍,受气候变化影响更显著。

与全年平均降水相比,关键影响期降水对农业旱灾损失率具有更显著的影响,与综合损失率的相关性也明显更高。南方综合损失率与关键影响期降水的相关系数比全年降水的增加了 -0.14,而北方比全年的增加了 -0.07,南方增加得更明显一些。

南方的降水量关键影响期在 4—8 和 10 月;而北方的降水量关键影响期在 4、5 和 7 月。北方的关键影响期比南方的更短。

通过对中国农业旱灾损失率变化趋势和南北区域差异性及其与气候变化的关系的系统分析,比较客观地认识了中国农业旱灾风险特征及其气候影响机制,对提高中国农业旱灾防御技术具有重要科学意义。但由于农业干旱灾情资料准确性的局限和干旱致灾过程复杂性的影响,对农业旱灾损失率变化特征的定量性及其影响机制的系统性认识还比较欠缺,旱灾损失主要与气候变化有关,另外也可能与其他因素(如种植制度、结构变化、品种变化、甚至耕作方式等)有关,需要在今后工作中通过对多源资料和作物模型的综合应用进一步解决。

参考文献

- 程静, 彭必源. 2010. 干旱灾害安全网的构建: 从危机管理到风险管理战略的变迁. 孝感学院学报, 30(4): 79-82. Cheng J, Peng B Y. 2010. Construction of drought disaster safety net: strategic change from crisis management to risk management. J Xiaogan Univ, 30(4): 79-82 (in Chinese)
- 陈方藻, 刘江, 李茂松. 2011. 60 年来中国农业干旱时空演替规律研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 36(4): 111-114. Chen F C, Liu J, Li M S. 2011. Researches on spatial and temporal succession law of agricultural drought in the past 60 years in China. J Southwest China Norm Univ (Nat Sci Ed), 36(4): 111-114
- 方红远, 甘升伟, 余莹莹. 2005. 我国区域干旱特征及干旱灾害应对措施分析. 水利水电科技进展, 25(5): 16-19. Fang H Y, Gan S W, Yu Y Y. 2005. Regional drought characteristics in China and some countermeasures. Adv Sci Technol Water Resour, 25(5): 16-19 (in Chinese)
- 顾颖, 刘静楠, 林锦. 2010. 近 60 年来我国干旱灾害情势和特点分析. 水利水电技术, 41(1): 71-74. Gu Y, Liu J N, Lin J. 2010. Analysis on characteristics and situation of drought disasters during past 60 years in China. Water Resour Hydrop Eng, 41(1): 71-74 (in Chinese)
- 韩兰英, 张强, 姚玉璧等. 2014. 近 60 年中国西南地区干旱灾害规律与成因. 地理学报, 69(5): 632-639. Han L Y, Zhang Q, Yao Y B, et al. 2014. Characteristics and origins of drought disasters in Southwest China in nearly 60 years. Acta Geogr Sinica, 69(5): 632-639 (in Chinese)
- 黄崇福, 刘新立, 周国贤等. 1998. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法. 自然灾害学报, 7(2): 1-9. Huang C F, Liu X L, Zhou G X, et al. 1998. Agriculture natural disaster risk assessment method according to the historic disaster data. J Nat Dis, 7(2): 1-9 (in Chinese)

- 黄会平. 2008. 1949—2005年全国干旱灾害若干统计特征. 气象科技, 36(5): 551-555. Huang H P. 2008. Analysis of statistical characteristics of droughts in China from 1949 to 2005. Meteor Sci Technol, 36(5): 551-555 (in Chinese)
- 黄荣辉, 杜振彩. 2010. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势. 自然杂志, 32(4): 187-195. Huang R H, Du Z C. 2010. Evolution characteristics and trend of droughts and floods in China under the background of global warming. Chinese J Nat, 32(4): 187-195 (in Chinese)
- 李茂松, 李森, 李育慧. 2003. 中国近50年旱灾灾情分析. 中国农业气象, 24(1): 7-10. Li M S, Li S, Li Y H. 2003. Studies on drought in the past 50 years in China. Chinese J Agrometeor, 24(1): 7-10 (in Chinese)
- 马柱国. 2007. 华北干旱化趋势及转折性变化与太平洋年代际振荡的关系. 科学通报, 52(10): 1199-1206. Ma Z G. 2007. The interdecadal trend and shift of dry/wet over the central part of North China and their relationship to the Pacific Decadal Oscillation (PDO). Chin Sci Bull, 52(15): 2130-2139
- 孙荣强. 1993. 中国农业重旱区及其特征. 灾害学, 8(2): 49-52. Sun R Q. 1993. Heavy agricultural drought area of China and its characters. J Catastroph, 8(2): 49-52 (in Chinese)
- 王静爱, 孙恒, 徐伟等. 2002. 近50年中国旱灾的时空变化. 自然灾害学报, 11(2): 1-6. Wang J A, Sun H, Xu W, et al. 2002. Spatio-temporal change of drought disaster in China in recent fifty years. J Nat Dis, 11(2): 1-6 (in Chinese)
- 翁白莎, 严登华. 2010. 变化环境下我国干旱灾害的综合应对. 中国水利, (7): 4-8. Weng B S, Yan D H. 2010. Reflections on integrated coping strategies for drought in China in changing environment. China Water Resour, (7): 4-8 (in Chinese)
- 吴绍洪, 潘韬, 贺山峰. 2011. 气候变化风险研究的初步探讨. 气候变化研究进展, 7(5): 363-368. Wu S H, Pan T, He S F. 2011. Primary study on the theories and methods of research on climate. Adv Clim Change Res, 7(5): 363-368 (in Chinese)
- 徐新创, 葛全胜, 郑景云等. 2011. 区域农业干旱风险评估研究: 以中国西南地区为例. 地理科学进展, 30(7): 883-890. Xu X C, Ge Q S, Zheng J Y, et al. 2011. Drought risk assessment on regional agriculture: A case in Southwest China. Progr Geogr, 30(7): 883-890 (in Chinese)
- 杨志勇, 刘琳, 曹永强等. 2011. 农业干旱灾害风险评价及预测预警研究进展. 水利经济, 29(2): 12-17, 75. Yang Z Y, Liu L, Cao Y Q, et al. 2011. Advances in risk assessment and forecast warning of agricultural drought disasters. J Econom Water Resour, 29(2): 12-17, 75 (in Chinese)
- 张强, 张良, 崔显成等. 2011. 干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战. 地球科学进展, 26(7): 763-778. Zhang Q, Zhang L, Cui X C, et al. 2011. Progress and challenges in drought assessment and monitoring. Adv Earth Sci, 26(7): 763-778 (in Chinese)
- 张强, 陈丽华, 王润元等. 2012. 气候变化与西北地区粮食和食品安全. 干旱气象, 30(4): 509-513. Zhang Q, Chen L H, Wang R Y, et al. 2012. Climate change and food, food safety in Northwest China. J Arid Meteor, 30(4): 509-513 (in Chinese)
- 张强, 韩兰英, 张立阳等. 2014. 论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略. 地球科学进展, 29(1): 80-91. Zhang Q, Han L Y, Zhang L Y, et al. 2014. The discussion of arid disaster and risk character under the climatic warming. Adv Earth Sci, 29(1): 80-91 (in Chinese)
- 张相文. 1908. 新撰地文学. 上海: 文明书局. Zhang X W. 1908. Shinsengumi to Literature. Shanghai: The Civilization Press (in Chinese)
- 朱增勇, 聂凤英. 2009. 美国的干旱危机处理. 世界农业, (6): 17-19. Zhu Z Y, Nie F Y. 2009. Measures for tackling with drought crisis in USA. World Agric, (6): 17-19 (in Chinese)
- Andersen T, Masci P. 2001. Economic exposures to natural disasters public policy and alternative risk management approaches. Infrastruct Financ Markets Rev, 7(4): 1-12
- Dai A G. 2010. Drought under global warming: A review. Wiley Interdisciplin Rev: Climatic Change, 2(1): 45-65
- Han L Y, Zhang Q, Ma P L, et al. 2015. The spatial distribution characteristics of a comprehensive drought risk index in southwestern China and underlying causes. Theor Appl Climatol, doi: 10.1007/s00704-015-1432-z
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Working Group II Report. New York: Cambridge University Press
- Neelin J D, Munnich M, Su H, et al. 2006. Tropical drying trends in global warming models and observations. Proc Natl Acad Sci USA, 103(16): 6110-6115
- Zhang Q, Han L Y, Jia J Y, et al. 2015. Management of drought risk under global warming. Theor Appl Climatol, doi: 10.1007/s00704-015-1503-1