

气候年景定量化评价方法^{*}

邹燕¹ 伍红雨² 林昕¹ 王岩³

ZOU Yan¹ WU Hongyu² LIN Xin¹ WANG Yan³

1. 福建省气候中心,福州,350001
 2. 广东省气候中心,广州,510080
 3. 福建省气象宣传科普教育中心,福州,350008
1. *Fujian Climate Center, Fuzhou 350001, China*
2. *Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080, China*
3. *Fujian Meteorological Propaganda & Popular Science Center, Fuzhou 350008, China*
- 2018-11-30 收稿,2019-07-11 改回.

邹燕,伍红雨,林昕,王岩. 2019. 气候年景定量化评价方法. 气象学报, 77(6):1124-1133

Zou Yan, Wu Hongyu, Lin Xin, Wang Yan. 2019. A quantitative method for the assessment of annual state of climate. *Acta Meteorologica Sinica*, 77(6):1124-1133

Abstract Assessment of the annual state of climate is an important part of the Annual Climate Bulletin, which is an essential output of climatic operations and services and assessment methods play a key role. This paper takes Fujian Province as an example to introduce a quantitative method for assessment of annual state of climate. This method is statistically simple, operationally adaptable and can be widely applied. Based on 50 years daily observations of precipitation and temperature as well as the meteorological drought composite index (MCI) over the period of 1961–2010 at the 66 National Meteorological Stations in Fujian Province, a comprehensive model for the assessment of state of climate, together with its grade standard and historical sequences have been established, in which the percentile method is used on the basis of annual status assessment indexes for cold weather, hot weather, heavy rainfall and meteorological drought. This system has realized the quantitative assessment and historical comparability of the annual state of climate for cold weather, hot weather, heavy rainfall, meteorological drought as well as the integrated climatic status. Operational application and verification against historical cases indicate that this system is reasonable and its results are highly consistent with major historical cases. This method provides a reference for quantitative assessments of precipitation intensity during rainy season, the intensity of cold or warmth in the winter or summer, etc.

Key words State of climate, Quantitative, Assessment model

摘要 气候年景评价是气候业务服务的重要产品——气候年公报的重要内容,其中评价方法是关键。旨在以福建省为例介绍一种计算简单、业务适用性强且易推广的气候年景定量化评价模型。基于福建省66个国家级气象站1961—2010年共50 a逐日气温、降水观测数据和综合气象干旱指数(MCI)数据,在分别建立低温年景、高温年景、雨涝年景和气象干旱年景的评价指标、等级划分标准和历史序列基础上,构建了综合气候年景的评价模型、等级划分标准和历史序列,实现了对福建省低温、高温、雨涝、气象干旱及综合气候年景的定量化评价且评价结果具有历史可比性。业务应用和历史事件验证显示所建评价指标体系合理,与历史重大事件一致性良好,可为汛期雨强、冬季低温强度、夏季高温强度等定量化评估提供参考。

关键词 气候年景,定量化,评价模型

中图法分类号 P466

^{*} 资助课题:中国气象局气候变化专项(CCSF201619)、福建省属公益类科研院所基本科研专项(2016R1029-4)、中国气象局气象行业标准项目(QX/T-2019-16)。

作者简介:邹燕,主要从事气候评价及灾害性天气气候事件监测评估方法研究。E-mail:zy163zouyan@163.com

1 引言

气候年景是一年气候状况的综合表征。气候年景评价是中国国家、省、地、县四级气象部门传统气候业务的重要服务产品——气候年公报的主要内容,也是开展气候及气候变化趋势分析及其对敏感行业影响评估的基础。在缺少定量化评价指标的情况下,业务中多以气象灾害损失为主要依据进行气候年景定性判断。这种年景评价结果不仅年间可比性差,而且对气候主要异常特征及灾害性天气、气候强事件表征能力有限。因此,建立一套客观、定量和尽可能全面的气候年景评价模型,是提升气候业务能力的重要基础,目前已成为各级气象部门气候业务服务的急需。

气候状况与农业、能源、植被、人类健康等密切相关(Masson-Delmotte, et al, 2018; Pryor, et al, 2014)。农业方面已构建许多适用于不同研究对象的农业气候年景评价模型(王春乙等, 2015)。袁育枝(1984)以农作物需水量与有效水分比值为因子,汪铎等(1989)以作物产量为因子,孙家民等(2005)以降水距平及其表征的旱涝程度为因子,分别建立了适用于各目标区或农产品类别的农业气候年景评估模型。杨若子等(2015)在分别建立低温冷害指标、干旱灾害指标和洪涝灾害指标的基础上建立了适用于东北玉米的气象灾害综合危险性评估模型。汪铎等(1990)以长江下游太湖平原为例,将近千年历史上水稻气候年景的变化同近代“环流-天气气候-年景”系统模式相结合,对这一地区历史时期的气候和与之关联的大型环流做长期趋势模拟分析。一些研究则着眼于气候主要特征的旱、涝方面建立了旱涝气候年景评估模型。汪哲荪等(2010)采用改进的马尔可夫链模型开展梅雨和干旱年景预测;李翠金等(1998)建立了适合长江中下游地区的旱涝气候年景定量化评价方法。近年综合考虑气候环境条件的旅游气候舒适度研究拓展迅速(张莹等, 2013; 刘琳等, 2017)。

对气候状况自身的定量化评价,多关注气温、降水等气候要素以及大气环流活动、主要天气气候事件等方面(丁一汇等, 2013; IPCC, 2013; U. S. Global Change Research Program, 2009; Klein Tank, et al, 2002)。气候监测诊断和预测业务中也常见地表温度、海温、海冰以及大气环流等状态分析(Do-

blas-Reyes, et al, 2013; 中国气象局国家气候中心, 2012)。可见,气温和降水是研究中最主要和常见的气候特征表征量(黄小梅等, 2013; 翟盘茂等, 2016, 2017),其异常也是气候年景异常的直接体现。邹燕等(2012)着眼于气温和降水偏差所导致的冷、热、旱、涝4个气候偏差主要方面,以福建省为例,在分别确定年低温、高温、干旱、雨涝异常程度定量化评价指标、等级划分标准及历史序列的基础上,建立了综合气候年景评价模型、等级划分标准和历史序列。石磊等(2012)在分别建立年干旱、雨涝、低温冷冻害、高温、风雹及雾霾等气候异常指数评估模型和灾损模型的基础上构建了安徽省气候年景模型。叶殿秀等(2017)以标准化的降水和气温为评价因子建立了气候年景评价模型和等级标准。既有的气候年景评价模型中,多因计算过程不够简约或实时数据难获取(邹燕等, 2012; 石磊等, 2012)而与日常业务服务的快捷需求有差距,有些评价指标对灾害性天气、气候强事件表征能力有限(叶殿秀等, 2017),因此,仍存在进一步完善和改进的空间。

本研究在邹燕等(2012)的基础上,结合多年业务和推广应用中积累的改进经验,建立具有普适性、评价指标意义明确、计算简单、数据实时易得并考虑各评价因子自身变率的年度冷、热、旱、涝景况及综合气候年景评价方法,以期为各级气象部门的气候评价业务服务提供定量化的气候年景评价方法借鉴,也为进一步开展冷、热、旱、涝景况和综合气候年景的时、空分布特征、气候变化趋势及异常年份环流背景分析等奠定基础。

2 资料和方法

2.1 资料

(1) 1961—2018年福建省66个中国国家气象观测站逐日20时—20时(北京时,下同)日最低气温、日最高气温和日降水量资料。

(2) 1961—2018年福建省综合气象干旱指数(MCI)(张存杰等, 2017)。

2.2 方法

2.2.1 百分位数计算方法

百分位数计算采用经验公式(Hyndman, et al, 1996)

$$\hat{Q}(p) = (1 - \gamma)X_j + \gamma X_{j+1} \quad (1)$$

式中, $\hat{Q}(p)$ 为 p 百分位对应的百分位数, X_j 为升序排列后的样本序列的第 j 个值, $j = \text{int}(p \times n + (1 + p)/3)$, n 为样本数, $\gamma = p \times n + (1 + p)/3 - j$ 为 p 、 n 的函数。

2.2.2 标准化计算公式

$$C_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\delta} \quad (2)$$

式中, C_i 为第 i 个样本的标准化值, Y_i 为第 i 个样本值, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ 为样本序列的气候平均值, $\delta =$

$$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$
 为样本序列的标准差。

3 气候年景评价因子

以低温年景指数、高温年景指数、干旱年景指数和雨涝年景指数作为气候年景的评价因子, 分别表征气候状况异常的冷、热、旱、涝 4 个方面。

3.1 低温年景指数及等级划分

3.1.1 低温影响敏感期及气象要素表征量

一年中, 低温影响敏感期为冷月(1、2 和 12 月)与早春(3、4 月)。冷月和早春常见的致灾天气类型不同, 分别是寒潮和持续性低温阴雨。因此, 冷月和早春的气象要素表征量分别选择日最低气温和日平均气温。

3.1.2 冷月低温强度指数

冷月低温强度指数用以表征冷月时段日最低气温累计偏低程度。计算步骤为:

(1) 冷月低温强度指数: 累计一年中的冷月时段全省(区)中国国家级气象观测站日最低气温距平为负值的距平数值, 得到该年冷月低温强度指数。鉴于 20 世纪 80 年代以来的气候明显变暖, 计算各县(市)逐日气温距平时, 月气候平均值采用分段方式; 其中 1961—1990 年的月气候平均值为 1961—1990 年 30 a 平均; 1991 年至今的月气候平均值为 1981—2010 年 30 a 平均。

(2) 冷月低温强度等级划分: 以 1961—2010 年逐年冷月低温强度指数 50 a 历史序列为样本, 参照中国气象局气候影响评价业务规定, 分别计算 10%、30%、70% 和 90% 对应的百分位数, 以此 4 个百分位数为阈值划分出 5 个等级(表 1)。

3.1.3 早春低温强度指数

早春低温强度指数用以表征早春时段日平均气温累计偏低程度。计算步骤为:

(1) 早春低温强度指数: 累计一年中的早春时段全省(区)国家级气象观测站中日平均气温距平为负值的距平数值, 得到该年早春低温强度指数。

(2) 早春低温强度的等级划分: 以 1961—2010 年逐年早春低温强度指数 50 a 历史序列为样本, 分别计算 10%、30%、70% 和 90% 对应的百分位数, 以这 4 个百分位数为阈值划分出 5 个等级(表 1)。

3.1.4 低温年景指数及等级划分

将标准化的冷月低温强度指数和早春低温强度指数与各自等级相乘, 再计算平均值, 得到低温年景指数

$$I_{\text{cold}} = G_{\text{mint}} \times C_{\text{mint}} + G_{\text{avet}} \times C_{\text{avet}} \quad (3)$$

式中, I_{cold} 为低温年景指数, C_{mint} 为标准化的冷月低温强度指数, C_{avet} 为标准化的早春低温强度指数, G_{mint} 为冷月低温强度等级, G_{avet} 为早春低温强度等级。

以 1961—2010 年低温年景指数 50 a 历史序列为样本, 分别计算 10%、30%、70% 和 90% 对应的百分位数, 以此 4 个百分位数为阈值划分为 5 个等级(表 1)。

表 1 低温、高温、雨涝和气象干旱年景等级划分

Table 1 Classification of annual state of climate for cold weather, hot weather, heavy rainfall and meteorological drought

百分位范围	年景等级	年景评价结果
$P \leq 10\%$	1	弱
$10\% < P \leq 30\%$	2	偏弱
$30\% < P \leq 70\%$	3	中等
$70\% < P \leq 90\%$	4	偏强
$P > 90\%$	5	强

3.2 高温年景指数及等级划分

3.2.1 高温影响敏感期及气象要素表征量

一年中, 高温影响敏感期是夏季时段, 气象要素表征量选择日最高气温。

3.2.2 高温年景指数

累计一年中高温影响敏感期(夏季)全省(区)国家级气象观测站日最高气温距平为正值距平数值, 得到该年高温年景指数。

3.2.3 高温年景指数的等级划分

以 1961—2010 年逐年高温年景指数 50 a 历史序列为样本, 分别计算 10%、30%、70% 和 90% 对应

的百分位数,以此4个百分位数为阈值划分为5个等级(表1)。

3.3 雨涝年景指数及等级划分

3.3.1 雨涝影响敏感期及气象要素表征量

雨涝影响敏感期为全年,气象要素表征量选择区域性暴雨过程综合强度指数。

3.3.2 区域性暴雨过程的识别

区域性暴雨日:全省(区)中国国家级气象观测站中,至少3个(或至少5%)站达单站暴雨日。

区域性暴雨过程(省级范围):区域性暴雨日持续天数至少1d的过程或者间断1d且间断日福建省66个中国国家级气象观测站日雨量满足以下条件之一(邹燕等,2014a,2014b):

- (1) 至少1个站达暴雨及以上;
- (2) 至少5个站达大雨及以上,且次日至少5个站达暴雨及以上;
- (3) 至少5个站达中雨及以上,且次日至少10

个站达暴雨及以上。

3.3.3 区域性暴雨过程强度评估

以最大过程雨量、最大日降水量、暴雨范围和持续天数4个特征量为评估因子,建立区域性暴雨过程综合强度指数;权重系数采用相关系数法(邹燕等,2014a,2014b)

$$R = W_1 \times G_{pre} \times C_{pre} + W_2 \times G_{24pre} \times C_{24pre} + W_3 \times G_{cov} \times C_{cov} + W_4 \times G_{day} \times C_{day} \quad (4)$$

式中, R 为区域性暴雨过程综合强度指数, C_{pre} 、 C_{24pre} 、 C_{cov} 和 C_{day} 分别是标准化后的4个特征量, G_{pre} 、 G_{24pre} 、 G_{cov} 和 G_{day} 分别是4个特征量的等级, W_1 、 W_2 、 W_3 和 W_4 为权重系数。

基于1961—2010年所有区域性暴雨过程综合强度指数历史序列,采用百分位数法,分别计算第60%、第80%、第90%和第98%对应的百分位数,以此4个百分位数为阈值划分为5个等级(表2)。

表2 区域性暴雨过程4个特征量和综合强度指数等级划分
Table 2 Classification and assessment of the composite intensity and four major statistics indexes for regional heavy rainfall

评估等级	1	2	3	4	5
百分位	$P \leq 60\%$	$60\% < P \leq 80\%$	$80\% < P \leq 90\%$	$90\% < P \leq 98\%$	$P > 98\%$
评估结果	一般性	略偏强(长)	偏强(长)	显著偏强(长)	极端偏强(长)

3.3.4 雨涝年景指数及等级划分

(1) 雨涝年景指数:采用邹燕等(2014a)建立的时段雨涝强度评估模型,加权累计一年中强度超过略偏强等级的区域性暴雨过程综合强度指数值,权重系数采用各暴雨过程的强度等级,得到雨涝年景指数

$$I_{rain} = \sum_{i=1}^N G_i \times R_i \quad (5)$$

式中, I_{rain} 为雨涝年景指数, R_i 、 G_i 分别为当年第*i*个综合强度达2级(略偏强)及以上的区域性暴雨过程的综合强度指数值和强度等级, N 为当年综合强度达略偏强及以上的区域性暴雨过程个数。

(2) 雨涝年景指数的等级划分:以1961—2010年逐年雨涝年景指数50a历史序列为样本,分别计算10%、30%、70%和90%对应的百分位数,以此4个百分位数作为阈值划分为5个等级(表1)。

3.4 气象干旱年景指数及等级划分

3.4.1 气象干旱影响敏感期及气象要素表征量

气象干旱影响敏感期为全年,气象要素表征量

选择国家标准《气象干旱等级》中的综合气象干旱指数(MCI)(张存杰等,2017)。

3.4.2 干旱年景指数

采用邹燕等(2013)建立的时段干旱强度评价方法,累计一年中全省(区)中国国家级气象观测站逐日综合气象干旱指数超过中旱的值,得到气象干旱年景指数。

3.4.3 气象干旱年景指数的等级划分

以1961—2010年逐年气象干旱年景指数50a历史序列为样本,分别计算10%、30%、70%和90%对应的百分位数,以此4个百分位数为阈值划分为5个等级(表1)。

4 气候年景评价模型及等级划分

4.1 气候年景评价模型

加权累计低温年景指数、高温年景指数、气象干旱年景指数和雨涝年景指数,得到气候年景指数

$$I_{\text{cli}} = \sum_{i=1}^m W_i \times G_i \times C_i \quad (6)$$

式中, I_{cli} 为气候年景指数, m 为气候年景的评价因子个数, 文中 $m=4$; G_i 为第 i 个评价因子的等级, C_i 为第 i 个评价因子的标准化数值; W_i 为第 i 个评价因子的权重系数, 可采取专家评分法或根据当地灾害气候特征确定。以福建为例, 高温和气象干旱的灾害影响相对较小, 4 个评估因子的权重系数分别为: 低温和雨涝 1.0, 高温和气象干旱 0.5。

4.2 气候年景等级

4.2.1 气候年景等级划分

以 1961—2010 年气候年景指数 50 a 历史序列为样本, 采用百分位数法分别计算 10%、30%、70% 和 90% 对应的百分位数; 以此 4 个百分位数为阈值划分为 5 个等级。

4.2.2 气候年景等级及评价结果

气候年景等级和评价参照中国气象局《气候影响评价业务规定》中的气候年景定性评价用语及等级设置(表 3)。

4.3 近 55 年冷、热、旱、涝年景历史序列

图 1—4 分别为 1961—2015 年福建省低温、高温、干旱、雨涝年景历史序列。可以看出, 近 55 年福建的低温景况趋于减弱, 雨涝和干旱趋于增强。高温景况虽然增强趋势不明显, 但存在明显的年代际

分布特征: 其中, 20 世纪 70 年代和 1997—2002 年高温景况较好, 而 2003 年之后高温年景强事件明显增多。

表 3 不同百分位与气候年景等级及评价结果对应表
Table 3 Corresponding between percentile (P) and grade of climate state assessment

百分位范围	气候年景等级	气候年景评价结果
$P \leq 10\%$	1	好
$10\% < P \leq 30\%$	2	较好
$30\% < P \leq 70\%$	3	一般
$70\% < P \leq 90\%$	4	较差
$P > 90\%$	5	差

5 气候年景评价结果及验证

5.1 气候年景评价结果

表 4 为基于上述所建立的评估模型和等级划分标准得到的 1961—2018 年福建低温、高温、干旱、雨涝年景等级及气候年景等级和评价结果。

5.2 历史验证

参照《中国气象灾害大典(福建卷)》(宋德众等, 2007)和 1995—2018 年福建气候影响评价(月、季、年)中的洪涝、干旱、低温冷害和持续高温重大历史灾害性天气、气候事件记载, 表 4 中的低温、高温、干旱和雨涝年景与文献记载具有较好的一致性。以低

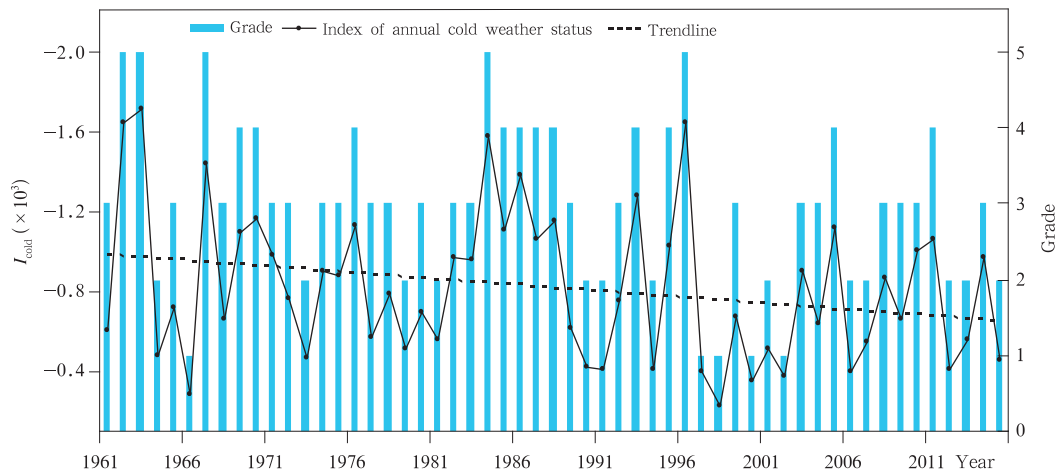


图 1 1961—2015 年福建省低温年景指数(实线, 左侧坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状, 右侧坐标)

Fig. 1 The index (solid line, left axis) and its trend (dashed line) and grade (columns, right axis) for annual cold weather state in Fujian during 1961—2015

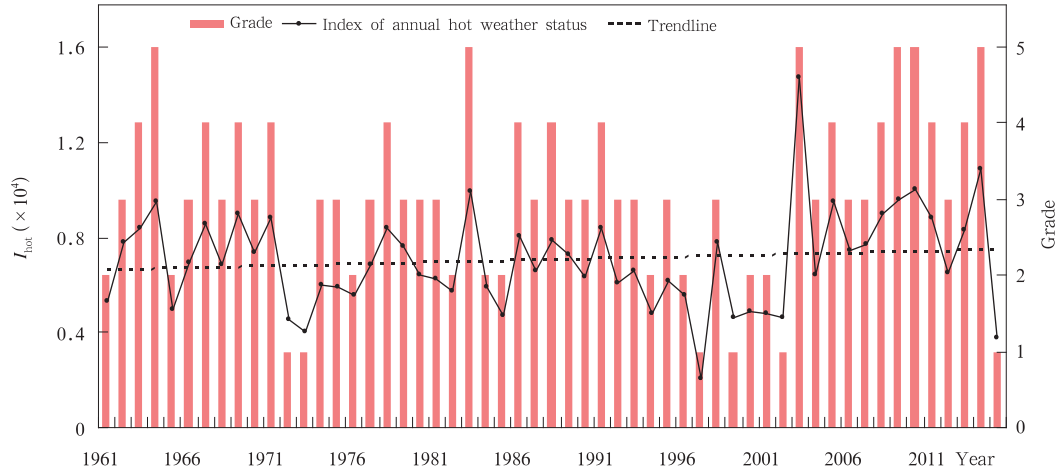


图 2 1961—2015 年福建省高温年景指数(实线,左侧坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状,右侧坐标)

Fig. 2 The index (solid line, left axis) and its trend (dashed line) and grade (columns, right axis) for annual hot weather state in Fujian during 1961 - 2015

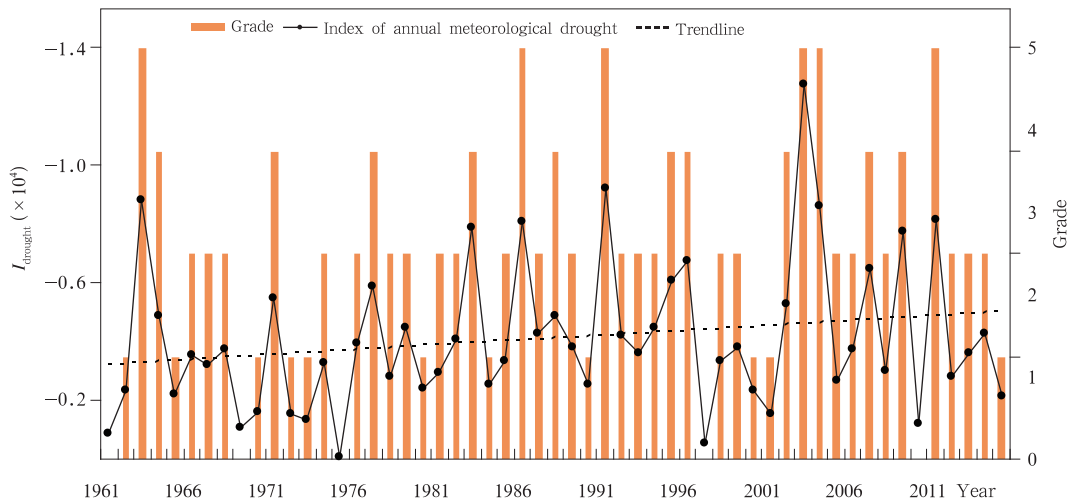


图 3 1961—2015 年福建省气象干旱年景指数(实线,左侧坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状,右侧坐标)

Fig. 3 The index (solid line, left axis) and its trend (dashed line) and grade (columns, right axis) for annual meteorological drought state in Fujian during 1961 - 2015

温年景为例,表 5 列出了 1961—2018 年的 5 个低温年景强年和 7 个低温年景弱年的气候实况概述。可以看出,低温年景强年冬季和春季多有异常强冷空气事件,而低温年景弱年冬季(春季)少寒潮(倒春寒)事件甚至异常偏暖。如低温年景强年的 1963 年,严寒贯穿冬春,4 月上旬还出现寒潮。低温年景

弱年,以 2017、2018 年为例,冬春气温多偏高,异常暖事件频现;2016/2017 年冬季是有气象记录以来最暖冬季。由此显示了低温年景的强、弱年与气候实况吻合较好。

表 4 与文献对照也显示,冷、热、旱、涝年景与当年强灾害性天气事件的强度等级并不是一一对应。

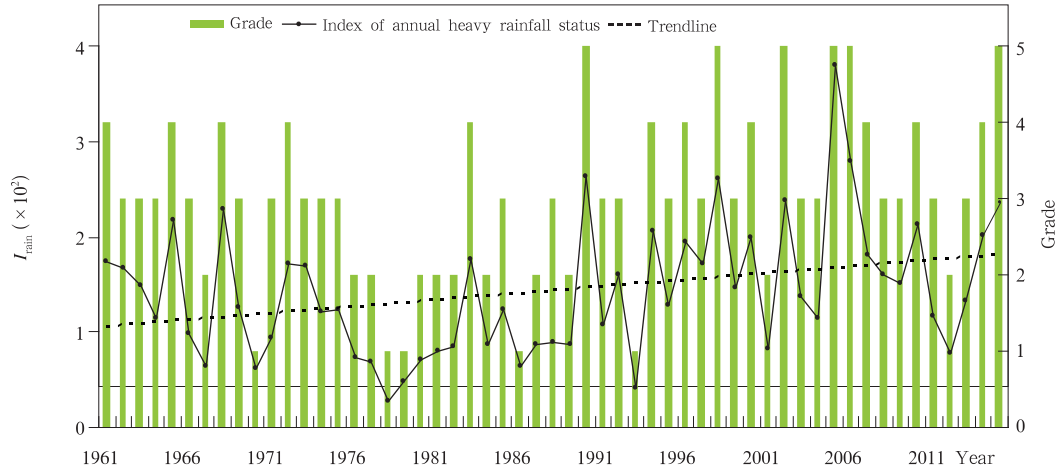


图4 1961—2015年福建省雨涝年景指数(实线,左侧坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状,右侧坐标)

Fig. 4 The index (solid line, left axis) and its trend (dashed line) and grade (columns, right axis) of annual heavy rainfall state in Fujian during 1961 – 2015

表4 1961—2018年福建气候年景评价结果

Table 4 Assessment result of annual state of climate from 1961 to 2018 in Fujian

年份	低温年景等级	高温年景等级	干旱年景等级	雨涝年景等级	气候年景等级	气候年景评价	年份	低温年景等级	高温年景等级	干旱年景等级	雨涝年景等级	气候年景等级	气候年景评价
1961	3	2	1	4	2	较好	1990	2	3	2	5	4	较差
1962	5	3	2	3	5	差	1991	2	4	5	3	3	一般
1963	5	4	5	3	5	差	1992	3	3	3	3	2	较好
1964	2	5	4	3	3	一般	1993	4	3	3	1	3	一般
1965	3	2	2	4	3	一般	1994	2	2	3	4	3	一般
1966	1	3	3	3	2	较好	1995	4	3	4	3	3	一般
1967	5	4	3	2	4	较差	1996	5	2	4	4	5	差
1968	3	3	3	4	3	一般	1997	1	1	1	3	3	一般
1969	4	4	1	3	3	一般	1998	1	3	3	5	4	较差
1970	4	3	2	1	3	一般	1999	3	1	3	3	2	较好
1971	4	4	4	3	3	一般	2000	1	2	2	4	3	一般
1972	3	1	2	4	3	一般	2001	2	2	2	2	1	好
1973	2	1	2	3	2	较好	2002	1	1	4	5	4	较差
1974	3	3	3	3	2	较好	2003	3	5	5	3	5	差
1975	3	3	1	3	2	较好	2004	3	3	5	3	3	一般
1976	4	2	3	2	3	一般	2005	4	4	3	5	5	差
1977	3	3	4	2	1	好	2006	2	3	3	5	4	较差
1978	3	4	3	1	3	一般	2007	2	3	4	4	3	一般
1979	2	3	3	1	2	较好	2008	3	4	3	3	3	一般
1980	3	3	2	2	1	好	2009	3	5	4	3	4	较差
1981	2	3	3	2	1	好	2010	3	5	1	4	4	较差
1982	3	2	3	2	2	较好	2011	3	4	5	3	4	较差
1983	3	5	4	4	4	较差	2012	1	3	3	2	1	好
1984	5	2	2	2	4	较差	2013	2	4	3	3	2	较好
1985	4	2	3	3	3	一般	2014	4	5	3	4	4	较差
1986	4	4	5	1	4	较差	2015	2	1	2	5	3	一般
1987	3	3	3	2	2	较好	2016	2	3	1	5	4	较差
1988	4	4	4	3	3	一般	2017	1	5	3	3	4	较差
1989	3	3	3	2	1	好	2018	1	4	3	3	3	一般

表5 低温年景强年、弱年气候实况记载一览表
Table 5 List of documentary climate records for strong and weak cold years

低温年景强年	文献气候实况记载	低温年景弱年	文献气候实况记载
1962	<p>冬季鹞峰山区出现罕见降雪天气,部分地区出现冻害。</p> <p>3月下旬出现严重倒春寒天气,许多地区出现早稻烂种烂秧,仅龙岩专区早稻烂种烂秧损失种子约155万千克。全省有14个县、市约4万公顷迟熟大麦、小麦受害,减产300多万千克。此外,福安、龙岩2专区地瓜烂种43.5万千克。</p>	1966	<p>2月中旬有一次明显的降温过程,越冬作物遭受不同程度的冻害。</p> <p>春季无倒春寒。</p>
1963	<p>1月出现1949年以来最严重的一次低温霜冻天气,降温范围之广,气温之低历史罕见。全省农作物受冻害面积达10万多公顷。全省春收粮食作物产量比上年减产一半以上。</p> <p>3、4月出现明显低温阴雨天气,造成早稻烂种、烂秧。4月4—9日出现最晚寒潮。</p>	1997	<p>冬季无寒潮影响。春季无倒春寒。</p>
1967	<p>入冬后全省气温偏低,越冬作物及闽南地区的热带、亚热带植物、果树等遭受冻害。闽南地区冻死香蕉4—4.6万公顷,223公顷早种小麦因抽穗期间受低温冻害而不能灌浆,产生白穗,造成严重减产。</p> <p>春季部分地区出现倒春寒,发生早稻烂种、烂秧现象。</p>	1998	<p>冬、春季冷空气活动较弱,没有出现影响大的寒潮天气。春季无倒春寒。</p>
1984	<p>冬季3次寒潮影响福建,造成了北部地区严重冻害。12月13—24日出现全省性强寒潮天气。</p> <p>春季出现持久低温和阴雨寡照天气。3月上旬气温偏低更为显著,旬平均气温偏低2—5℃,为1949年以来少见。</p>	2000	<p>1月全省大部分地区月平均气温偏高2℃,1月24—28日北部、西部及西南部部分县、市出现寒潮。2月正常到偏低1℃左右。</p> <p>春季无“倒春寒”。</p>
1996	<p>晚冬寒气逼人,2月18—24日出现全省性自1993年以来最强寒潮,并伴有持续8—10天低温阴雨天气。3月8—12日中部、北部部分县、市再次出现寒潮。</p> <p>春季出现严重倒春寒,低温阴雨过程次数之多、范围之广、持续时间之长、结束日之迟历史罕见。</p>	2002	<p>1月偏高1—2℃,2月偏高2—3℃。1月16日隆冬时节全省19个县、市日最高气温创1961年以来新高。</p> <p>春季无倒春寒。</p>
		2017	<p>2016/2017年冬季为有气象记录以来最强暖冬。</p> <p>3月气温接近常年,4月偏高0.7℃。</p>
		2018	<p>2017/2018年冬季气温偏高0.1℃;3、4月分别偏高2℃、1.7℃。</p>

比如:(1)1999年12月出现了历史罕见的强寒潮事件,而1999年低温年景等级仅是3级。但计算分析结果显示,采用文中方法得到的1999年12月月低温强度指数值为1961年以来最大,与该月的强寒潮事件是一致的。而1999年冷时段的其他月份气温偏低程度不明显,因此整体低温年景并不很强是合理的。(2)2010年6月14—26日的区域性暴雨过程强度之强为历史少见,仅次于“98.6”暴雨过程;而2010年雨涝年景为4级,这主要与当年台风季(7—9月)雨涝强度较弱有关。

进一步考察综合气候年景5个好年和5个差年的文献气候实况记载(表略),显示年景好年冷、热、旱、涝景况较平稳,而年景差年多极端强天气、气候事件。

5.3 业务验证

2016—2018年,文中方法在福建气候评价业务

应用中也显示了合理性。

(1)2016年气象灾害损失之大历史少见,其中以台风灾害为重,暴雨洪涝灾害次之。综合考虑汛期暴雨和台风暴雨的2016年雨涝年景达5级(强)与实际吻合。因逐日最大风速和极大风速历史数据缺乏暂未添加风灾年景评价因子,导致2016年台风重灾的主要因素——风灾无法体现。而且当年低温、高温和干旱年景异常并不突出,总的气候年景“较差”是合理的。

(2)2017年对气候年景影响大的是高温。年内高温次数多(并列1961年以来最多)、强度强、持续时间长,多个县(市)极端最高气温破当地历史极值,高温年景强度仅次于2003年并显著高于常年。当年气象干旱和雨涝年景均为3级(中等强度),因此气候年景4级(“较差”)是合理的。

(3)2018年气候平稳,雨季降水偏弱且台风影

响的强暴雨过程少,但夏季高温过程次数历史第三多,春、夏季出现近15年最强气象干旱,总的气候年景“一般”且指数值接近“较好”阈值,与气候实况吻合。

6 结论

(1) 以福建为例,基于气候特征的4个主要方面(冷、热、旱、涝),在分别建立年低温、高温、干旱和雨涝强度评估模型和等级划分标准的基础上,构建了气候年景评价模型、等级标准和1961年以来历史序列。

(2) 利用建立的气候年景评价模型和等级标准,可实现年度冷、热、旱、涝强度及综合气候年景状况的量化评价且评价结果具有历史可比性,可为年度气候公报编制提供技术支撑。

(3) 福建1961—2015年低温、高温、干旱、雨涝年景强度变化趋势分析显示,近55年福建的低温景况趋于减弱,雨涝和干旱趋于增强,高温增强趋势不明显。

(4) 2016—2018年气候业务应用和历史重大气象灾害事件对比验证显示了本评价方法的合理性以及与重大历史事件的一致性。

7 讨论

(1) 气象灾害事件的经济损失和社会影响除了与事件强度相关外,也与事件发生时间、地点以及所在地的社会经济状况有关。因此,气候年景状况与气象灾害损失大小不一致的情况可能存在,如有的年份冷、热、旱、涝异常程度不显著而灾情损失较大等。

(2) 文中采用的数据方便易得,评价模型简单,保证了业务应用的快捷性和实时性要求。评价模型的普适性也易于各级气象业务部门推广应用。目前已在广东、江苏和辽宁的省级气候业务中应用;应用情况亦显示了本方法的实用性。

(3) 文中方法的普适性主要体现在对气候年景“冷、热、旱、涝”4个主要特征异常状况的表征能力。由于灾害气候的地域差异,各地在建立本地气候年景评价模型时需根据当地主要气象灾害类别进行完善。如:(a)沿海省份可增加台风风灾年景项。因为有的台风风灾影响大甚至是致灾最主要因素,而雨涝年景项仅反映台风的强降水影响。文中示例的福

建省,囿于目前历史大风观测数据不足,暂未增加此项;未来随着自动气象观测站建设及自记纸资料数字化,大风数据可进一步积累和补充。(b)东北省份的低温冷害敏感时段还包括夏季。此外,北方地区还需考虑暴雪、沙尘暴等。

参考文献

- 丁一汇,王绍武,郑景云等. 2013. 中国气候. 北京: 科学出版社, 272-391. Ding Y H, Wang S W, Zheng J Y, et al. 2013. Climate of China. Beijing: Science Press, 271-391 (in Chinese)
- 黄小梅,管兆勇,戴竹君等. 2013. 冬季东亚大槽强度年际变化及其与中国气候联系的再分析. 气象学报, 71(3): 416-428. Huang X M, Guan Z Y, Dai Z J, et al. 2013. A further look at the interannual variations of East Asian trough intensity and their impacts on winter climate of China. Acta Meteor Sinica, 71(3): 416-428 (in Chinese)
- 李翠金,马巧英. 1998. 长江中下游地区旱涝气候年景和评定方法的研究. 灾害学, 13(1): 72-77. Li C J, Ma Q Y. 1998. A study on drought or flood year's harvest in the middle and lower reaches of Yangtze River and assessment method. J Catastrophol, 13(1): 72-77 (in Chinese)
- 刘琳,刘京,肖荣波等. 2017. 城市局地气候的可视化评估及分析. 哈尔滨工业大学学报, 49(8): 109-115. Liu L, Liu J, Xiao R B, et al. 2017. Urban local climatic visualized evaluation and analysis. J Harbin Inst Technol, 49(8): 109-115 (in Chinese)
- 石磊,王胜,盛绍学. 2012. 近50年安徽省气候年景评估方法. 地理研究, 31(9): 1580-1588. Shi L, Wang S, Sheng S X. 2012. Study on the method of annual climatic assessment of Anhui province in the past 50 years. Geogr Res, 31(9): 1580-1588 (in Chinese)
- 宋德众,蔡诗树,温克刚. 2007. 中国气象灾害大典(福建卷). 北京: 气象出版社, 97-232. Song D Z, Cai S S, Wen K G. 2007. China Meteorological Disaster Record (Fujian Volume). Beijing: China Meteorological Press, 97-232 (in Chinese)
- 孙家民,黄朝迎. 2005. 中国农业气候年景的评估及预测. 应用气象学报, 16(S1): 111-115. Sun J M, Huang C Y. 2005. Assessment and prediction for annual agricultural climate status in China. J Appl Meteor Sci, 16(S1): 111-115 (in Chinese)
- 王春乙,张继权,霍治国等. 2015. 农业气象灾害风险评估研究进展与展望. 气象学报, 73(1): 1-19. Wang C Y, Zhang J Q, Huo Z G, et al. 2015. Prospects and progresses in the research of risk assessment of agro-meteorological disasters. Acta Meteor Sinica, 73(1): 1-19 (in Chinese)
- 汪铎,张镔. 1989. 近百年长江下游作物生长季冷暖的变化与大型环流的振动. 气象学报, 47(3): 287-295. Wang D, Zhang T. 1989. Cold/warm change of lower Yangtze during the crop growing season in the last 100 years and their relation to large-scale circulation fluctuation. Acta Meteor Sinica, 47(3): 287-

- 295 (in Chinese)
- 汪铎, 张谭. 1990. 历史时期“大型环流-天气气候-作物年景”系统低频振动的模拟试验. *大气科学*, 14(3): 317-327. Wang D, Zhang T. 1990. Simulated testing of low-frequency fluctuation of "circulation-weather climate-harvest" (CWH) in past 1000 years. *Chinese J Atmos Sci*, 14(3): 317-327 (in Chinese).
- 汪哲菘, 周玉良, 金菊良等. 2010. 改进马尔可夫链模型在梅雨和干旱预测中的应用. *水电能源科学*, 28(11): 1-4. Wang Z S, Zhou Y L, Jin J L, et al. 2010. Applications of improved Markov chain model to prediction of plum rain and drought. *Water Resour Power*, 28(11): 1-4 (in Chinese)
- 杨若子, 周广胜. 2015. 东北三省玉米主要农业气象灾害综合危险性评估. *气象学报*, 73(6): 1141-1153. Yang R Z, Zhou G S. 2015. A comprehensive risk assessment of the main maize agrometeorological disasters in the three provinces of Northeast China. *Acta Meteor Sinica*, 73(6): 1141-1153 (in Chinese)
- 叶殿秀, 高荣, 邹燕等. 2017. GB/T 33670-2017 气候年景评估方法. 北京: 中国标准出版社, 2-6. Ye D X, Gao R, Zou Y, et al. 2017. GB/T 33670-2017 Assessment method for annual climatic status. Beijing: China Standards Press, 2-6 (in Chinese)
- 袁育枝. 1984. 试论华北半湿润半干旱地区降水资源的农业气候评价: 以海河平原为例. *气象学报*, 42(4): 440-448. Yuan Y Z. 1984. A comment on the precipitation resources in the semi-wet and semi-arid regions in North China: Take the Hai River Plain for an example. *Acta Meteor Sinica*, 42(4): 440-448 (in Chinese)
- 翟盘茂, 余荣, 郭艳君等. 2016. 2015/2016 年强厄尔尼诺过程及其对全球和中国气候的主要影响. *气象学报*, 74(3): 309-321. Zhai P M, Yu R, Guo Y J, et al. 2016. The strong El Niño in 2015/2016 and its dominant impacts on global and China's climate. *Acta Meteor Sinica*, 74(3): 309-321 (in Chinese)
- 翟盘茂, 廖圳, 陈阳等. 2017. 气候变暖背景下降水持续性与相态变化的研究综述. *气象学报*, 75(4): 527-538. Zhai P M, Liao Z, Chen Y, et al. 2017. A review on changes in precipitation persistence and phase under the background of global warming. *Acta Meteor Sinica*, 75(4): 527-538 (in Chinese)
- 张存杰, 刘海波, 宋艳玲等. 2017. GB/T 20481-2017 气象干旱等级. 北京: 中国标准出版社, 1-5. Zhang C J, Liu H B, Song Y L, et al. 2017. GB/T 20481-2017 Grades of Meteorological Drought. Beijing: China Standard Press, 1-5 (in Chinese)
- 张莹, 马敏劲, 王式功等. 2013. 中国大陆九大名山风景区旅游气候舒适度评价. *气象*, 39(9): 1221-1226. Zhang Y, Ma M J, Wang S G, et al. 2013. Evaluation on tourism climate comfort in nine famous mountain scenic spots in Chinese mainland. *Meteor Mon*, 39(9): 1221-1226 (in Chinese)
- 中国气象局国家气候中心. 2012. 气候系统监测诊断年报 2011. 北京: 气象出版社, 65-183. National Climate Center of China Meteorological Administration. 2012. Climate System Monitoring and Diagnosis Annual Report 2011. Beijing: China Meteorological Press, 65-183 (in Chinese)
- 邹燕, 叶殿秀, 王岩等. 2012. DB35/T 1178-2011 气候年景评估方法. 福州: 福建省质量技术监督局, 2-9. Zou Y, Ye D X, Wang Y, et al. 2012. DB35/T 1178-2011 Method of Annual Climatic Impact Assessment. Fuzhou, Fujian Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 2-9 (in Chinese)
- 邹燕, 黄文, 张容焱等. 2013. DB35/T 1283-2012 气象干旱评价方法. 福州: 福建省质量技术监督局, 1-8. Zou Y, Huang W, Zhang R Y, et al. 2013. DB35/T 1283-2012 Classification of Meteorological Drought Based on Continuous Dry Days. Fuzhou, Fujian Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 1-8 (in Chinese)
- 邹燕, 林毅, 刘爱鸣等. 2014a. DB35/T 1372-2013 暴雨过程综合强度评估方法. 福州: 福建省质量技术监督局, 2-6. Zou Y, Lin Y, Liu A M, et al. 2014a. DB35/T 1372-2013 Assessment of Regional Rainfall's Intensity. Fuzhou: Fujian Provincial Bureau of Quality and Technical Supervision, 2-6 (in Chinese)
- 邹燕, 叶殿秀, 林毅等. 2014b. 福建区域性暴雨过程综合强度量化评估方法. *应用气象学报*, 25(3): 360-364. Zou Y, Ye D X, Lin Y, et al. 2014b. A quantitative method for assessment of regional heavy rainfall intensity. *J Appl Meteor Sci*, 25(3): 360-364 (in Chinese)
- Doblas-Reyes F J, Garcia-Serrano J, Lienert F, et al. 2013. Seasonal climate predictability and forecasting: Status and prospects. *Wiley Interdiscip Rev: Climate Change*, 4(4): 245-268
- Hyndman R J, Fan Y N. 1996. Sample quantiles in statistical packages. *Amer Stat*, 50(4): 361-365
- IPCC. 2013. Summary for policymakers // IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2013. Cambridge: Cambridge University Press, 10-15
- Klein Tank A M G, Wijngaard J B, Können G P, et al. 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *Int J Climatol*, 22(12): 1441-1453
- Masson-Delmotte V, Zhai P M, Pörtner H O, et al. 2018. Summary for policymakers // IPCC. Global Warming of 1.5°C. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 7-16
- Pryor S C, Scavia D, Downer C, et al. 2014. Chapter 18: Midwest. Climate change impacts in the United States: The third national climate assessment // Melillo J M, Richmond T C, Yohe G W. National Climate Assessment Report. Washington, DC: U. S. Global Change Research Program, 418-440
- U. S. Global Change Research Program. 2009. Global Climate Change Impacts in the United States. Cambridge: Cambridge University Press, 13-40