

## 气候年景定量化评价方法

邹燕<sup>1)</sup> 伍红雨<sup>2)</sup> 林昕<sup>1)</sup> 王岩<sup>3)</sup>

ZOU Yan WU Hongyu LIN Xin WANG Yan

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

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, 79 ( ) :\*\*-\*\*.

Zou Yan, Wu Hongyu, Lin Xin, Wang Yan. 2019. A quantitative method for assessment of annual

climatic status. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 79 ( ) :\*\*-\*\*.

**Abstract** Assessment of the annual climatic status is an important part of the Annual Climate Bulletin, which is an essential output of climatic operations and services, in which assessment methods play a key role. This paper takes Fujian Province as an example for introducing a quantitative method for assessment of annual climatic status, which is considered statistically simple, operationally adaptable and widely applied. Based on the 50 year' s daily observation data of precipitation and temperature as well as the meteorological drought composite index (MCI) covering the period of 1961-2010 from the 66 National Meteorological Stations in Fujian Province, comprehensive climatic status models, together with their grade standard and historical sequences have been established, for which percentile method is used, on the basis of annual status assessment indexes for cold weather, hot weather, heavy rainfall, meteorological drought. Such system has realized the quantitative assessment and historical comparability of the annual climatic status of cold weather, hot weather, heavy rainfall, meteorological drought as well as the integrated climatic status. Through operational application and verification by historical cases, the rationality of this system and its high consistency with major historical cases have been proved. This method provides reference for quantitative assessment of precipitation intensity during rainy season, cold degree in winter, hot degree in summer and etc.

**Key words:** Climatic status, Quantitative, Assessment model

\*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

39 摘要 **[目的]**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，旨在以  
40 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。**[资料和方法]**基于福建省 66  
41 个国家级气象站 1961—2010 年共 50 年逐日气温、降水观测数据和综合气象干旱指数（MCI）数据，**[结果]**在分别  
42 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的基础上，构建了综合  
43 气候年景的评价模型、等级划分标准和历史序列，**[结论]**实现了对福建省低温、高温、雨涝、气象干旱及综合气候  
44 年景的定量化评价能力和历史可比性。业务应用和历史事件验证显示了所建评价指标体系的合理性以及与历史重大  
45 事件的良好一致性。本方法可为汛期雨强、冬季低温强度、夏季高温强度等定量化评估提供参考。

46 **关键词：**气候年景，定量化，评价模型

47 中图法分类号 P466

## 48 1 引言

49 气候年景是一年气候状况的综合表征。气候年景评价是国家、省、地、县四级气象部门传统气  
50 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  
51 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  
52 候年景定性判断。这种年景评价结果不仅年际间可比性差，而且对气候主要异常特征及灾害性天气  
53 气候强事件表征能力有限。**[研究的意义]**因此，建立一套客观、定量和尽可能全面的气候年景评价  
54 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。

55 **[前人研究进展]**气候状况与农业、能源、植被、人类健康等密切相关（IPCC, 2018; Pryor,  
56 et al, 2014），特别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，  
57 2015）。袁育枝等（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  
58 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  
59 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  
60 洪涝灾害指标的基础上建立了适用于东北玉米农业的气象灾害综合危险性评估模型。汪铎等（1990）  
61 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”  
62 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作长期趋势模拟分析。一些研  
63 究则着眼气候主要特征的旱、涝方面建立了旱涝气候年景评估模型。如汪哲荪等（2010）采用改进  
64 马尔可夫链模型开展梅雨和干旱年景预测；李翠金等（1998）对长江中下游地区旱涝气候年景进行  
65 了研究。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）。

66 **[前人研究进展]**对气候状况自身的定量化评价，多集中在对气温、降水等气候要素以及大气环  
67 流活动、主要天气气候事件等方面（丁一汇等，2013；IPCC, 2013；Thomas, et al, 2009；Kleintank,  
68 2002）。气候监测诊断和预测业务也关注地表温度、海温、海冰以及大气环流等状态特征  
69 （Francisco, et al, 2013；中国气象局国家气候中心，2012）。其中，气温和降水是研究中最主  
70 要和常见的气候特征表征量（黄小梅等，2013；翟盘茂等，2016；翟盘茂等，2017），其异常也是  
71 气候年景异常的直接体现。邹燕等（2011）着眼气温和降水偏差所导致的冷、热、旱、涝这4个气  
72 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、  
73 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

74 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  
75 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  
76 因子建立了气候年景评价模型和等级标准。[本研究切入点]既有的气候年景评价模型中, 多因计算  
77 过程不够简约或实时数据难获取 (邹燕等, 2011; 石磊等, 2012) 而与日常业务服务的快捷需求有  
78 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  
79 步完善和改进的空间。

80 本文拟在邹燕等 (2011) 的基础上, 结合多年业务和推广应用中积累的改进经验, [拟解决的  
81 关键问题]建立具有普适性、评价指标特理意义明确、计算简单、数据实时易得并考虑各评价因子  
82 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  
83 务服务提供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  
84 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。

## 85 2 资料和方法

### 86 1.1 资料

87 (1) 1961—2018年福建省66个国家气象观测站逐日20时—20时 (BT) 日最低气温、日最高气温  
88 和日降水量。

89 (2) 1961—2018年福建省气象干旱综合监测指数 (MCI) (张存杰等, 2017)。

### 90 1.2 方法

#### 91 1.2.1 百分位数计算方法

92 百分位数计算采用经验公式 (Hyndman, et al., 1996)。

$$93 \quad \hat{Q}(p) = (1-\gamma)X_j + \gamma X_{j+1} \quad (1)$$

$$94 \quad j = \text{int}(p \times n + (1+p)/3)$$

$$95 \quad \gamma = p \times n + (1+p)/3 - j$$

96 式中:  $\hat{Q}_i(p)$  为  $p$  百分位对应的百分位数;  $X$  为升序排列后的某要素样本序列;  $X_j$  为升序排  
97 列后的样本序列的第  $j$  个值;  $n$  为样本长度;  $\gamma$  为  $p$ 、 $n$  的函数。

#### 98 1.2.2 标准化计算公式

$$99 \quad C_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\delta} \quad (2)$$

$$100 \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$101 \quad \delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

102 式中： $G_i$ 为第  $i$  个样本的标准化值； $\bar{Y}$  为样本序列的气候平均值； $\delta$  为样本序列的标准差；  
103  $K_i$ 为第  $i$  个样本值； $n$ 为样本长度。

### 104 3 气候年景评价因子

#### 105 3.1 气候年景评价因子

106 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4个特征量为气候年景的评价  
107 因子，分别表征气候状况异常的冷、热、旱、涝四个方面。

#### 108 3.2 低温年景指数及等级划分

##### 109 3.2.1 低温影响敏感期及气象要素表征量

110 一年中，低温影响敏感期为冷月（1月、2月和12月）与早春（3—4月）。由于冬季和早春常  
111 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  
112 择日最低气温和日平均气温。

##### 113 3.2.2 冷月低温强度指数

114 冷月低温强度指数用以表征冷月时段日最低气温累积偏低程度。计算步骤如下：

###### 115 a) 冷月低温强度指数

116 累加一年中的冷月时段全省（区）国家级气象观测站日最低气温为负距平的数值，得到  
117 该年冷月低温强度指数。

###### 118 b) 冷月低温强度等级划分

119 以1961—2010年逐年冷月低温强度指数50年历史序列为样本，参照中国气象局气候影响  
120 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  
121 阈值划分出5个等级（见表1）。

##### 122 3.2.3 早春低温强度指数

123 早春低温强度指数用以表征早春时段日平均气温累积偏低程度。计算步骤如下：

###### 124 a) 早春低温强度指数

125 累加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为负距平的数值，得到  
126 该年早春低温强度指数。

###### 127 b) 早春低温强度的等级划分

128 以1961—2010年逐年早春低温强度指数50年历史序列为样本，分别计算10%、30%、70%  
129 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（见表1）。

##### 130 3.2.4 低温年景指数及等级划分

131 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  
132 温年景指数，计算见公式（3）。以1961—2010年低温年景指数50年历史序列为样本，分别计算  
133 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（见表1）。

134 -----

135 \*鉴于1980年代以来的气候明显变暖，本文计算各县市逐日气温距平时，采用的月平均值为分段方式；其中  
136 1961—1990年的月平均值为1961—1990年30年平均；1991年至今的月平均值为1981—2010年30年平均。

137

138

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

139

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。

141

表1 低温、高温、雨涝和气象干旱年景等级划分

142

Table 1 Classification of annual status to cold weather, hot weather, heavy rainfall and meteorological drought

143

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

144

### 145 3.3 高温年景指数及等级划分

#### 146 3.3.1 高温影响敏感期及气象要素表征量

147 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。

#### 148 3.3.2 高温年景指数

149 累加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为正距平的数值，  
150 得到该年高温年景指数。

#### 151 3.3.3 高温年景指数的等级划分

152 以1961—2010年逐年高温年景指数50年历史序列为样本，分别计算10%、30%、70%和90%  
153 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（见表1）。

### 154 3.4 雨涝年景指数及等级划分

#### 155 3.4.1 雨涝影响敏感期及气象要素表征量

156 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。

#### 157 3.4.2 区域性暴雨过程的识别

158 区域性暴雨日：目标区国家级气象观测站中，至少3个（或至少5%）站达单站暴雨日的雨日。

159 区域性暴雨过程（省级范围）：区域性暴雨日持续天数至少1天的过程或者间断1天且间断日福  
160 建省66个国家级气象观测站日雨量满足以下条件之一：a)至少1个站达暴雨及以上；b)至少5个站  
161 达大雨及以上，且次日至少5个站达暴雨及以上；c)至少5个站达中雨及以上，且次日至少10个站  
162 达暴雨及以上（邹燕等，2013、2014）。

#### 163 3.4.3 区域性暴雨过程强度评估

164 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  
165 雨过程综合强度指数；权重系数采用相关系数法（邹燕等，2013、2014）。计算方法见公式（4）。

$$166 R = W_1 \times G_{pre} \times C_{pre} + W_2 \times G_{24pre} \times C_{24pre} + W_3 \times G_{cov} \times C_{cov} + W_4 \times G_{day} \times C_{day} \quad (4)$$

167 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



168 征量； $G_{prec}$ 、 $G_{24pre}$ 、 $G_{cov}$  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。

169 基于1961~2010年所有区域性暴雨过程的强度指数历史序列，采用百分位数法，分别计算第  
170 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。区域  
171 性暴雨过程4个特征量和综合强度指数的等级划分见表2。

172 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

173 Table 2 Classification and assessment of composite intensity and four major statistics index of regional  
174 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）

### 175 3.4.4 雨涝年景指数及等级划分

#### 176 a) 雨涝年景指数

177 采用邹燕等（2013）建立的时段雨涝强度评估模型，加权累加一年中强度超过略偏强等级  
178 的区域性暴雨过程强度指数值，权重系数采用各暴雨过程的强度等级，得到雨涝年景指数。  
179 计算方法见公式（5）。

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

180 式中： $I_{rain}$ 为雨涝年景指数； $R_i$ 为当年第  $i$  个综合强度达 2 级（略偏强）及以上的区域性暴  
181 雨过程的综合强度指数值； $N$ 为当年综合强度达略偏强及以上的区域性暴雨过程个数。

#### 183 b) 雨涝年景指数的等级划分

184 以 1961—2010 年逐年雨涝年景指数 50 年历史序列为样本，分别计算 10 %、30 %、70 % 和  
185 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（见表 1）。

### 186 3.5 气象干旱年景指数及等级划分

#### 187 3.5.1 气象干旱影响敏感期及气象要素表征量

188 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  
189 旱 MCI 指数（张存杰等，2017）。

#### 190 3.5.2 干旱年景指数

191 采用邹燕等（2012）建立的时段干旱强度评价方法，累加一年中全省（区）国家级气象观测站  
192 逐日综合气象干旱 MCI 监测指数超过中旱的 MCI 值，得到气象干旱年景指数。

#### 193 3.5.3 气象干旱年景指数的等级划分

194 以 1961—2010 年逐年气象干旱年景指数 50 年历史序列为样本，分别计算 10 %、30 %、70 %  
195 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（见表 1）。

## 196 4 气候年景评价模型及等级划分

### 197 4.1 气候年景评价模型

198 加权累加低温年景指数、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  
199 数，计算方法见公式(4)。

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

201 式中： $I_{cli}$  为气候年景指数； $m$ 为气候年景的评价因子个数，本文中 $m=4$ ； $G_i$  为第 $i$ 个评价因子  
202 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  
203 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  
204 权重系数分别为：低温和雨涝1.0，高温和气象干旱0.5。

## 205 4.2 气候年景等级

### 206 4.2.1 气候年景等级划分

207 以1961—2010年气候年景指数50年历史序列为样本，采用百分位数法分别计算10%、30%、  
208 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。

### 209 4.2.2 气候年景等级及评价结果

210 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  
211 等级设置。气候年景等级划分及评价结果见表3。

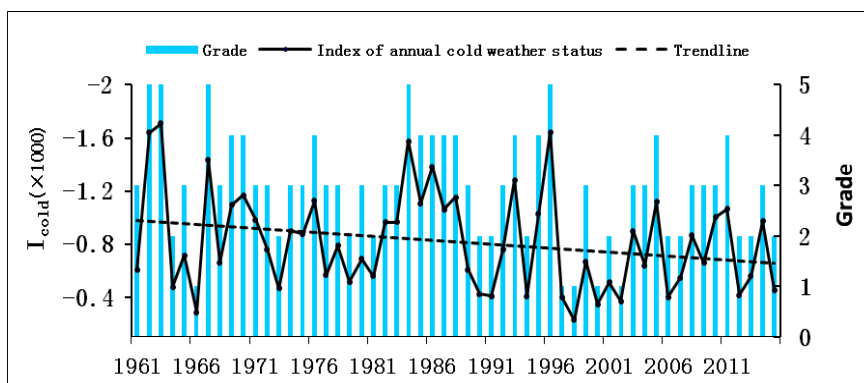
212 表3 不同百分位( $P$ )与气候年景等级及评价结果对应表

213 Table 3 Corresponding tables between percentile( $P$ ) and grade of climatic status 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

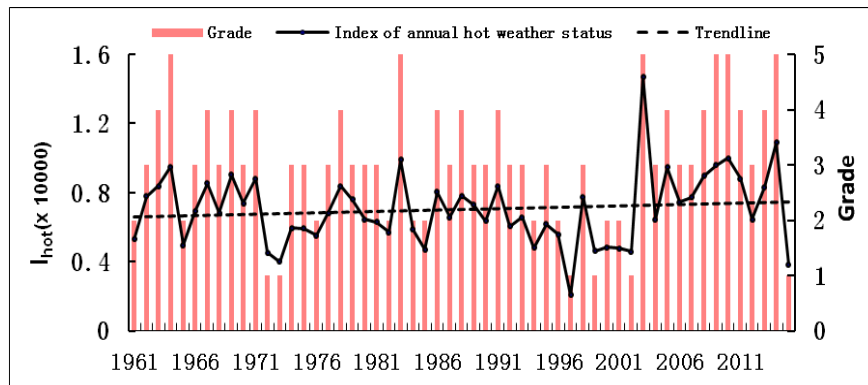
## 214 4.3 近55年冷、热、旱、涝年景历史序列

215 图4a-d分别是1961—2015年福建省低温、高温、干旱、雨涝年景历史序列。图中显示，近  
216 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  
217 显的年代际分布特征，其中1970年代至2000年代初高温景况较好，而2003年之后高温年景强事  
218 件明显增多。

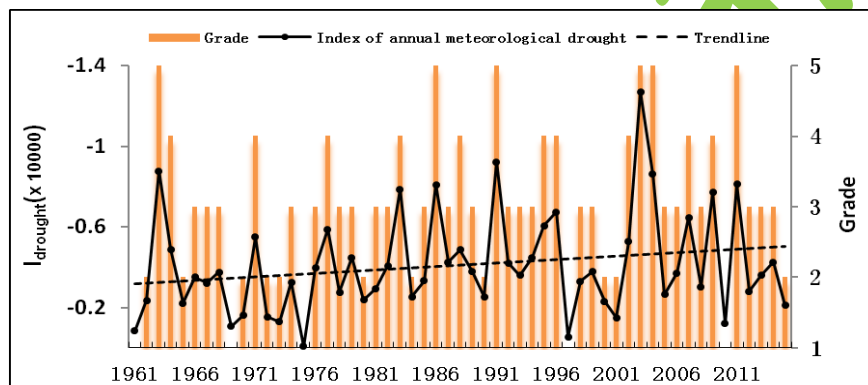


219

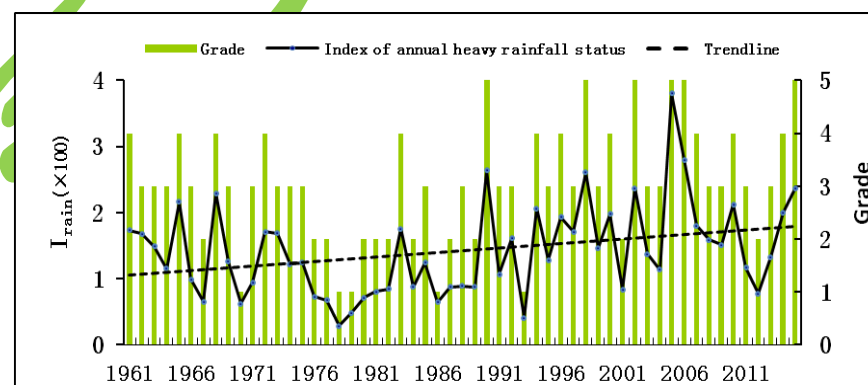
220 图4a 1961-2015年福建省低温年景指数(实线,左测坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状,右侧坐标)  
 221 Fig.4a Index (solid line; left axis) with its trendline(dashed line) and grade(column line;right  
 222 axis) of cold weather status in Fujian during 1961-2015



223  
 224 图4b 1961-2015年福建省高温年景指数(实线,左测坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状,右侧坐标)  
 225 Fig.4b Index (solid line; left axis) with its trendline(dashed line) and grade(column line;right  
 226 axis) of annual hot weather status in Fujian during 1961-2015



227  
 228 图4c 1961-2015年福建省气象干旱年景指数(实线,左测坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状,右侧坐标)  
 229 Fig.4c Index (solid line; left axis) with its trendline(dashed line) and grade(column line;right  
 230 axis) of annual meteorological drought status in Fujian during 1961-2015



231  
 232 图4d 1961-2015年福建省雨涝年景指数(实线,左测坐标)、趋势线(虚线)和等级(柱状,右侧坐标)  
 233 Fig.4d Index (solid line; left axis) with its trendline(dashed line) and grade(column line;right  
 234 axis) of annual heavy rainfall status in Fujian during 1961-2015

## 235 5 气候年景评价结果及验证

### 236 5.1 气候年景评价结果



237 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  
 238 旱、雨涝年景等级及气候年景等级和评价结果。

239 表 4 1961—2018 年福建气候年景评价结果  
 240 Table 4 Result of annual Fujian climatic status assessment from 1961 to 2018

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

241 5.2 历史验证

242 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  
 243 （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  
 244 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。以低温年景为例，表 5 列出了 1961  
 245 —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  
 246 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

247 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，以近年的  
 248 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  
 249 冬季。由此显示了低温气景的强、弱年与气候实况吻合较好。

250 表 5 低温年景强年、弱年气候实况记载一览表

251 Table 5 List of documentary climate record in 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
1	1962 冬季鹭峰山区出现了罕见降雪天气，部分地区出现冻害。 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 310 万斤。全省有 14 个县市约 60 万亩迟熟大麦、小麦受害，减产 600 多万斤。此外，福安、龙岩 2 专区地瓜烂种 87 万斤。	1966	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。春季无倒春寒。
2	1963 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 151 万多亩。全省春收粮食作物产量比上年减产一半以上。 3、4 月份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。	1997	冬季无寒潮影响。春季无倒春寒。
3	1967 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 60~70 万亩，3345 亩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。 春季部分地区出现倒春寒，发生早稻烂种烂秧现象。	1998	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。
4	1984 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。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。 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。	2000	1 月全省大部偏高 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。春季无“倒春寒”。
5	1996 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、终日之迟历史罕见。	2002	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。春季无倒春寒。
		2017	2016/2017 年冬季为有气象记录以来最强暖冬。 3 月气温接近常年，4 月偏高 0.7℃。
		2018	2017/2018 年冬季气温偏高 0.1℃；3 月、4 月分别偏高 2℃、1.7℃。

252  
 253 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  
 254 一对应。比如：

255 (1) 1999 年 12 月份出现了历史罕见的强寒潮事件，而 1999 年低温年景等级是 3 级。但计算  
 256 分析结果显示，采用本文方法得到的 1999 年 12 月份月低温强度指数值为 1961 年以来最大，与该  
 257 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情况不明显，因此整体低温年景

258 并不很强是合理的。

259 (2) 2010 年 6 月 14—26 日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；  
260 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。

261 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），显示好年景冷、  
262 热、旱、涝景况较平稳，而差年景多极端强天气气候事件。

### 263 5.3 业务验证

264 2016 年至 2018 年，本文方法在福建气候评价业务应用中也显示了合理性。

265 (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  
266 虑汛期暴雨和和台风暴雨的 2016 年雨涝年景达 5 级（强）与实际吻合。因逐日最大风速或极大风  
267 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。  
268 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。

269 (2) 2017 年对气候年景影响大的是高温和干旱。年内高温次数多（并列 1961 年以来最多）、  
270 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  
271 并显著高于常年，再加上四季皆有气象干旱并出现大范围夏秋季连旱，造成该年虽然雨涝和低温年  
272 景较好但气候年景指数居高。总的气候年景“较差”是合理的。

273 (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  
274 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，  
275 与气候实况吻合。

## 276 6 结论

277 (1) 本文以福建为例，基于气候特征的 4 个主要方面，即冷、热、旱、涝，在分别建立年低温、  
278 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  
279 1961 年以来历史序列。

280 (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  
281 景状况的量化评价和历史可比性，可为年度气候公报编制提供技术支撑。

282 (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  
283 低温景况趋于减弱，雨涝和干旱趋于增强，高温虽然增强趋势不明显。

284 (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  
285 性以及历史重大历史事件的一致性。

## 286 7 讨论

287 (1) 气候条件的异常与气象灾害损失大小并不是一一对应的，因为气象灾害事件的经济损失和  
288 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相关。因此，  
289 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，比如有的年份冷热旱涝异常程度不显著  
290 而灾情损失较大等。

291 (2) 本文采用的数据方便易得和评价模型简单，保证了业务应用的快捷性和实时性要求。计算

292 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  
293 用，应用情况亦显示了本方法的实用性。

294 (3) 本方法的普适性主要体现在对气候年景“冷、热、旱、涝”4个主要特征的状况异常的表  
295 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  
296 类别进行完善。比如：

297 a) 沿海省份可增加台风风灾年景项。因为有的年份台风风灾明显甚至是台风致灾最主要因素，  
298 而雨涝年景项仅反映台风强降水影响。本文示例的福建省，囿于目前历史大风观测数据不足，暂未  
299 增加此项；未来随着自动观测站建设及自记纸资料数字化，大风历史数据可进一步积累和补充。

300 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。

301

### 302 参考文献

303 丁一汇，王绍武，郑景云等. 2012. 中国气候. 北京：气象出版社，272-391. Ding Y H, Wang S W, Zheng  
304 J Y. 2012. Climate of China. Beijing: Science Press, 271-391 (in Chinese).

305 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.

306 气象学报，71 (3)：416-428. Huang X M, Guan Z Y, Dai Z J. 2013. A further look at the  
307 interannual variations of East Asian trough intensity and their impacts on winter climate of  
308 China. Acta Meteor Sinica, 71 (3) : 416-428 (in Chinese).

309 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.

310 Li C J, Ma Q Y. 1998. A study on drought or flood year's harvest in the middle and lower reaches of  
311 Yangtze River and assessment method. J catastrophology, 13(1):72-77 (in Chinese).

312 廖要明，钟海玲. 2016. 中国气候影响评价(2015年). 北京：气象出版社. Liao Y M, Zhong H L.  
313 2016. China Climate Impact Assessment. Beijing (Volume 2015): China Meteorological Press (in  
314 Chinese).

315 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

316 (8)：109-115. Liu L, Liu J, Xiao R B. 2017. Urban local climate visualized evaluation and  
317 analysis. Journal of Harbin Institute of Technology, 49 (8) : 109-115 (in Chinese).

318 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  
319 L, Wang S, Sheng S X. 2012. Study on the method of annual climatic assessment of Anhui province in  
320 the past 50 years. Geographical Research, 31 (9) : 1580-1588 (in Chinese).

321 宋德众，蔡诗树. 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.  
322 2007. China Meteorological Disaster Record (Fujian Volume). Beijing: China Meteorological Press,  
323 97-232 (in Chinese).

324 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(增刊)：111-115. Sun  
325 J M, Huang C Y. 2005. Assessment and prediction for annual agricultural climate status in China. J  
326 appl Meteor Sci, 16(supplement): 111-115 (in Chinese).

327 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)：  
328 1-19. Wang C Y, Zhang J Q, Huo Z G. 2015. Prospects and progresses in the research of risk  
329 assessment of agro-meteorological disasters. Acta Meteor Sinica, 73 (1) : 1-19 (in Chinese).

330 汪铎，张樟. 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)：  
331 287-295. Wang D, Zhang Z. 1989. The change of cold and warm in the growing season of crops in  
332 the lower reaches of the Yangtze River and the vibration of large circulation. Acta Meteor Sinica  
333 , 47(3): 287-295 (in Chinese) .



- 334 汪铎, 张樟. 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  
 335 学, 14(3): 317-326. Wang D,Zhang Z.1990. Simulation test of low-frequency vibration of the ‘large  
 336 circulation-weather climate-annual agricultural status’ system in the historical period.Chinese J.  
 337 Atmos Sci,14(3):317-326 (in Chinese).
- 338 汪哲荪, 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  
 339 能源科学, 28(11): 1-4. Wang Z S,Zhou Y L,Jin J L.2010. Application of improved Markov  
 340 chain model in Meiyu and drought prediction.J Water Resources and Power,28(11): 1-4(in Chinese).
- 341 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):  
 342 1141-1153. Yang R Z,Zhou G S.2015.A comprehensive risk assessment of the main maize agro-  
 343 meteorological disasters in the three province of Northeast China. Acta Meteor Sinica, 73(6):1141  
 344 -1153 (in Chinese).
- 345 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  
 346 D X,Gao R,Zou Y.2017.GB/T 33670-2017 Assessment Method for Annual Climatic Status. Beijing:  
 347 China Standards Press,2-6(in Chinese).
- 348 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,  
 349 42(4): 440-448. Yuan Y Z.1984.A comment on the precipitation resources in the semi-wet and  
 350 semi-arid regions in North China-take the Hai River Plain for an example. Acta Meteor Sinica,42  
 351 (4):440-448 (in Chinese).
- 352 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  
 353 要影响. 气象学报, 74(3): 309-321. Zhai P M,Yu R.Guo Y J.2016. The strong El Nino in  
 354 2015/2016 and its dominant impacts on global and China's climate. Acta Meteor Sinica, 74(3):  
 355 309-321 (in Chinese).
- 356 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  
 357 报, 75(4): 527-538. Zhai P M,Liao Z,Chen Y.2017.A review on changes in precipitation  
 358 persistence and phase under the background of global warming. Acta Meteor Sinica,75(4):527-538  
 359 (in Chinese).
- 360 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.  
 361 Zhang C J,Liu H B,Song Y L.2017. GB/T 20481-2017 Grades of Meteorological Drought. Beijing:  
 362 China Standards Press,1-5(in Chinese).
- 363 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):  
 364 1221-1226. Zhang Y,Ma M J,Wang S G.2013.Evaluation on tourism climate comfort in nine  
 365 famous mountain scenic spots in Chinese mainland.Meteor Mon,39(9):1221-1226 (in Chinese).
- 366 中国气象局国家气候中心. 2012. 气候系统监测诊断年报. 北京: 气象出版社, 65-183. National  
 367 Climate Center of China Meteorological Administration.2012.Climate system monitoring and  
 368 diagnosis annual report.Beijing:Science Press,65-183 (in Chinese).
- 369 邹燕, 叶殿秀, 高荣等. 2011. DB 35/T 1178-2011 气候年景评估方法. 福州: 福建省质量技术监督  
 370 局, 2-9. Zou Y,Ye D X,Gao R.2011. DB 35/T 1178-2011 Method of Annual Climatic Impact  
 371 Assessment.Fuzhou:Fujian Provincial Administration of Industry and Commerce,2-9(in Chinese).
- 372 邹燕, 黄文, 周信禹等. 2012. DB/T 1283-2012 气象干旱评价方法. 福州: 福建省质量技术监督局,  
 373 1-8. Zou Y,Huang W,Zhou X Y.2012.DB/T 1283-2012 Classification of Meteorological Drought  
 374 Based on Continuous Dry Days.Fuzhou:Fujian Provincial Administration of Industry and  
 375 Commerce,1-8 (in Chinese).
- 376 邹燕, 林毅, 刘爱鸣等. 2013. DB35/T 1372-2013 暴雨过程综合强度评估方法. 福州: 福建省质量技  
 377 术监督局, 2-6. Zou Y,Lin Y,Liu A M.2013. DB35/T 1372-2013 Assessment of Regional Rainfall's  
 378 Intensity. Fuzhou:Fujian Provincial Administration of Industry and Commerce,2-6(in Chinese).



- 379 邹燕, 叶殿秀, 林毅等. 2014. 福建区域性暴雨过程综合强度定量化评估方法. 应用气象学报,  
380 25 (3): 360-364. Zou Y, Ye D X, Lin Y. 2014. A quantitative method for assessment of intensity of  
381 regional heavy rainfall. *J Appl Meteor Sci*, 25 (3): 360-364 (in Chinese).
- 382 Francisco J D R, Javier G S, Fabian L. 2013. Seasonal climate predictability and forecasting:  
383 status and prospects. *WIREs Clim Change* 2013, 4: 245 - 268.
- 384 Hyndman R. J., Fan, Y. 1996. Sample quantiles in statistical packages. *American*  
385 *Statistician*, 50(4): 361-365.
- 386 IPCC. 2013. Summary for Policy makers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis,*  
387 *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the*  
388 *Intergovernmental Panel on Climate Change 2013*, Cambridge University Press, 10-15.
- 389 IPCC. 2018. Summary for Policymakers//Special Report on Global Warming of 1.5°C. UK:  
390 Cambridge University Press. 7-16.
- 391 Kleintank A M G, Wijngaard J B, Konnen G P. 2002. Daily dataset of 20th-century surface  
392 air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *Int*  
393 *J Climatol*, 22: 1441 - 1453.
- 394 Pryor S C, Scavia D, Downer C. 2014. Chapter 18: Midwest. *Climate Change Impacts in the*  
395 *United States: The Third National Climate Assessment*. In: Melillo J M, Richmond TC,  
396 Yohe G W, editors. *U.S. Global Change Research Program*, 418 - 440.
- 397 Thomas R K, Jerry M M, Thomas C P. 2009. *Global Climate Change Impact in the United States*,  
398 Cambridge University Press, 13-40.
- 399