大气科学学报　2020 年　第 43 卷　第 3 期:516-524
论 著　http://dqkxxb.cnjournals.org

广东气候年景的客观定量化评估

伍红雨[①②],邹燕[③*],郭尧[④]
① 广东省气候中心,广东 广州 510641;
② 中国气象局 广州热带海洋气象研究所 广东省区域数值天气预报重点实验室,广东 广州 510641;
③ 福建省气候中心,福建 福州 350001;
④ 南加利福尼亚大学,加利福尼亚 洛杉矶 90007
* 联系人,E-mail:zy163zouyan@163.com

2019-03-25 收稿,2019-05-27 接受
广东省科技计划资助项目(2017B020244002;2017B030314140);广东省气象局科研资助项目(GRMC2019M10);广东省气候中心业务科研资助项目(QH201705)

摘要　利用 1961—2017 年广东 86 个地面气象观测站逐日降水、气温以及气象干旱指数(Drought Index,DI)资料,建立了综合考虑雨涝、低温、干旱和高温这 4 个方面的广东气候年景客观定量评估方法,对广东气候年景进行客观定量评估,并应用实况灾情对评估结果进行验证。结果表明,近 57 a 来,广东雨涝和干旱年景指数变化趋势不显著,而低温年景指数呈显著下降的趋势,高温年景指数呈显著上升的趋势。近 57 a 来,广东综合气候年景指数以 0.06/(10 a)的速率下降,但下降趋势不明显。评估得到广东气候年景评估结果与灾害实况大部相符,气候年景为差的年份有 5 a:1963 年、1969 年、1993 年、2001 年、2008 年。研究结果为广东客观定量的气候年景评估业务和决策服务提供技术依据。

关键词
气候年景;
客观定量评估;
广东

广东地处低纬地区、濒临海洋,属于热带、亚热带季风气候区,是我国气象灾害频发的地区,主要气象灾害有台风、暴雨、低温、干旱、高温等。随着经济社会的发展,气象灾害造成的直接经济损失更加突出。据广东省民政厅资料统计,在 2008 年,受强"龙舟水"、低温雨雪冰冻灾害,强台风"黑格比"等影响,气象灾害共造成广东 125 人死亡,直接经济损失约 421.7 亿元。2015 年,受超强厄尔尼诺事件影响,广东台风、暴雨、干旱等气象灾害频发,共造成广东 48 人死亡,直接经济损失 308.1 亿元。据 1994—2017 年广东省防灾减灾年鉴(广东省防灾减灾年鉴编写组,2017)的数据统计,广东平均每年因气象灾害造成 153 人死亡,直接经济损失达 167.3 亿元。可见每年的气象灾害对广东国民经济和人民生产生活会造成很大影响,特别是出现大灾的年份。

气候年景是一年气候状况的综合表征(邹燕等,2019)。而气候年景评估是对一年气候状况的整体把握,是开展气候及气候变化及对各敏感行业影响评估的基础(石磊等,2012),也是当前防灾减灾、决策服务的迫切需求。气象学者对气候年景的评估进行了研究,并取得很有意义的成果(纪忠萍和谢炯光,2000;孙家民和黄朝迎,2005;徐良炎和高歌,2005;纪忠萍等,2013;尹宜舟和李焕连,2017)。纪忠萍和谢炯光(2000)、纪忠萍等(2013)对广东低温阴雨的年景变化趋势以及低频振荡特征进行分析。徐良炎和高歌(2005)根据 1983—2002 年的社会经济和台风灾情资料,对我国台风灾害年景进行了定量分析评估。尹宜舟和李焕连(2017)采用热带气旋年潜在影响力指数初步探讨了我国台风灾害年景预评估方法。伍红雨等(2019)对 1961—2017 年广东区域性暴雨过程进行了客观定量的评估。可见对广东气候年景的研究主要是针对低温阴雨和区

引用格式:伍红雨,邹燕,郭尧,2020.广东气候年景的客观定量化评估[J].大气科学学报,43(3):516-524.
Wu H Y,Zou Y,Guo Y,2020.Objective assessment of annual climate status in Guangdong[J].Trans Atmos Sci,43(3):516-524.doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20190325001.(in Chinese).

域暴雨,针对广东主要气象灾害的综合气候年景评估,目前业务上是主观判断,没有进行客观定量评估,而这是当前广东气候年景客观定量评估业务以及决策服务的需求。

气候异常,特别是降水和气温的异常是导致气候年景偏差的重要因素。若主要以灾情损失大小判断年景的好坏,由于灾损历史数据较少(因 1994 年才开始编制《广东省防灾减灾年鉴》,才有广东每年的气象灾害造成的直接经济损失、人员伤亡等统计情况)、灾情数据来源不同(广东省民政厅或广东省三防等)造成的差异,这样的气候年景评价方法统一性不足,也使得年际间可比性不足。并且气候条件的异常与灾损大小并不是一一对应的,主要是灾害造成的直接经济损失和影响与气象灾害事件发生的时间、地点、经济、人口等密切关联。因此,气候年景与灾害损失有的年份会存在差异,比如有的年份冷暖旱涝异常程度不显著而灾情损失较大等。所以有必要根据气候异常情况来客观定量评估气候年景异常。利用广东 86 个国家气象观测站的逐日降水、气温(日平均气温、日最高气温、日最低气温)资料,逐日气象干旱指数(Drought Index,DI),建立广东气候年景综合强度评估方法,分析近 57 a 来广东雨涝、低温、干旱和高温的各年景指数变化特征,在此基础上综合分析广东气候年景的特征和变化,并用实况灾情对其验证,研究结果为广东的气候年景评价业务的客观、定量以及决策服务提供支持。

1 资料和方法

1)基于资料时间系列的长度和完整性,采用广东省气候中心整编的广东 86 个国家气象观测站 1961 年 1 月 1 日—2017 年 12 月 31 日的逐日降水和气温资料(日平均气温、日最高气温、日最低气温),对资料进行了均一性检查和质量控制,去除 1961 年以来资料长度少于 54 a 的站点,最后选取 82 个观测站资料进行分析。

2)采用广东省气候中心业务使用的 1961—2017 年广东 82 个站逐日气象干旱指数 DI,DI 具体计算方法详见文献(王春林等,2014;陈慧华等;2016)。

3)灾情数据来自 1994—2017 年《中国气象灾害大典:广东卷》、《广东省防灾减灾年鉴》、《广东省志·自然灾害志》、2004—2017 年广东省气候公报等,灾情数据用于与评估结果进行比较和验证。

气候年景评估是对一年气候状况的综合把握。广东的主要气象灾害是台风、暴雨洪涝、低温、高温、干旱等。台风主要带来风雨影响,风速资料,特别是日最大风速资料在 1980 年以前站点资料少(1961—1969 年广东 86 个国家级观测站中仅有 2~4 个站有日最大风速资料;1970—1980 年仅有 22~25 个有日最大风速资料,1981 年以后达到 86 个)。由于数据系列原因,在评估模型中暂不考虑台风的风影响,主要考虑台风雨的致灾影响。参考福建省地方标准《气候年景评价方法》(DB 35/T 1178-2019)及邹燕等(2019)的研究方法,该方法在福建省气候中心已经过 5 a 多的业务应用,验证了此方法具有很好的实用性,对年度气候异常具有良好的表征性,并且方法简单易推广至县市级。首先计算得到雨涝、低温、干旱和高温这 4 个要素的年景指数,然后对这 4 个年景指数系列进行标准化再加权累加,得到气候年景指数,指数越大,表明气候异常越显著,对应的气候年景越差。具体计算见公式(1)。

$$I_{CS} = W_{cold}G_{cold}I_{cold} + W_{hot}G_{hot}I_{hot} + W_{rain}G_{rain}I_{rain} + W_{dr}G_{dr}I_{dr}。 \quad (1)$$

其中:I_{CS}代表气候年景指数;I_{cold}、I_{hot}、I_{rain}、I_{dr}分别代表低温、高温、雨涝、干旱年景指数;G_{cold}、G_{hot}、G_{rain}、G_{dr}分别代表低温、高温、雨涝、干旱年景等级;W_{cold}、W_{hot}、W_{rain}、W_{dr}分别代表低温、高温、雨涝、干旱这 4 个年景指数系列的权重系数。权重系数主要考虑广东气候环境条件下各灾种的致灾性。暴雨洪涝、低温是广东主要气象灾害,权重系数设为 1;而气象干旱和夏季高温对广东省来说灾害影响相对小很多,权重系数设为 0.5。

对于计算得到的 1961—2017 年的 57 a 气候年景指数序列,参考中国气象局气候影响评估规定,分别计算 10%、30%、70%和 90%对应的百分位数,以这 4 个百分位数为临界阈值划分出 5 个气候年景等级,分别为:好(1 级)、较好(2 级)、一般(3 级)、较差(4 级)、差(5 级);不同百分位与气候年景等级、气候年景评估结果的对应见表 1,低温、高温、雨涝和干旱年景指数等级划分表也同表 1。根据广东气候年景指数的划分标准,得到划分年景指数的阈值(表 2)。

雨涝、低温、干旱、高温的具体年景指数定义和等级划分标准如下。

1)雨涝

雨涝年景指数(I_{rain})为累加 1 a 内略偏强以上区域性暴雨过程的强度值和其等级的乘积。选取暴雨范围、持续时间、最大日降水量和最大过程雨量作为区域性暴雨过程的综合强度评估指标来计算气候

表 1　不同百分位(P)与气候年景评估等级和评估结果

Table 1　Correspondence between different percentile(P) and assessment classes and result of annual climate status

百分位	气候年景等级	气候年景评估结果
$P\leqslant 10\%$	1	好
$10\%<P\leqslant 30\%$	2	较好
$30\%<P\leqslant 70\%$	3	一般
$70\%<P\leqslant 90\%$	4	较差
$P>90\%$	5	差

表 2　广东气候年景指数的阈值(气候年景指数已标准化)

Table 2　Threshold of index of annual climate status in Guangdong

年景指数的阈值	气候年景等级	气候年景评估结果
$I_{CS}\leqslant -0.75$	1	好
$-0.75<I_{CS}\leqslant -0.48$	2	较好
$-0.48<I_{CS}\leqslant 0.30$	3	一般
$0.30<I_{CS}\leqslant 1.30$	4	较差
$I_{CS}>1.30$	5	差

年景指数,方法详见邹燕等(2014)。罗艳艳等(2015)、伍红雨等(2019)指出该评估方法能客观、定量和合理的描述区域性暴雨过程。采用同样的百分位数计算法,对近 57 a 广东雨涝年景指数序列进行划分,得到广东雨涝年景指数的阈值(表 3)。

表 3　广东雨涝年景指数的阈值(雨涝年景指数已标准化)

Table 3　Threshold of index for rain-waterlogging annual climate status in Guangdong

雨涝指数的阈值	雨涝年景等级	雨涝年景评估结果
$I_{rain}\leqslant -1.20$	1	好
$-1.20<I_{rain}\leqslant -0.65$	2	较好
$-0.65<I_{rain}\leqslant 0.49$	3	一般
$0.49<I_{rain}\leqslant 1.30$	4	较差
$I_{rain}>1.30$	5	差

2)低温

年低温强度综合考虑冷月(1 月、2 月和 12 月)最低气温异常与早春(3—4 月)平均气温异常两个方面。冷月易致灾的温度因子是最低气温。冷月低温强度指数(I_{mint})为累加 1 a 冷月广东 82 个站中日最低气温为负距平的数值。同上百分位数法划分出 5 个等级。早春易致灾的温度因子是日平均气温。类似冷月低温强度指数定义和强度的等级划分得到早春低温强度指数(I_{avet})和早春低温强度的等级划分。

年低温年景指数就是累加标准化的冷月低温强度指数和早春低温强度指数。同上百分位数法划分出 5 个等级(表 4)。

$$I_{cold}=I_{mint}G_{mint}+I_{avet}G_{avet}。$$

其中:I_{cold}、I_{mint}、I_{avet}分别是低温年景指数以及冷月、早春低温强度指数;G_{mint}、G_{avet}分别为冷月、早春低温强度的等级。

表 4　广东低温年景指数的阈值(低温年景指数已标准化)

Table 4　Threshold of index for low temperature annual climate status in Guangdong

低温指数的阈值	低温年景等级	低温年景评估结果
$I_{cold}>1.05$	1	好
$0.6<I_{cold}\leqslant 1.05$	2	较好
$-0.3<I_{cold}\leqslant 0.6$	3	一般
$-1.0<I_{cold}\leqslant -0.3$	4	较差
$I_{cold}<-1.0$	5	差

3)干旱

干旱年景指数采用广东 82 个气象观测站的逐日 DI 指数。干旱年景指数(I_{dr})为累加 1 a 中广东 82 个站逐日 DI 指数达中旱以上的数值,同样方法划分得到 5 个等级(表 5)

表 5　广东干旱年景指数的阈值(干旱年景指数已标准化)

Table 5　Threshold of index for drought annual climate status in Guangdong

干旱指数的阈值	干旱年景等级	干旱年景评估结果
$I_{dr}>0.95$	1	好
$0.56<I_{dr}\leqslant 0.95$	2	较好
$-0.50<I_{dr}\leqslant 0.56$	3	一般
$-1.40<I_{dr}\leqslant -0.50$	4	较差
$I_{dr}\leqslant -1.40$	5	差

4)高温

高温年景考虑夏季时段(7—9 月),易致灾的温度因子是最高气温。采用广东省 82 个国家级气象观测站的逐日最高气温数据。高温年景指数(I_{hot})为累加一年中夏季广东 82 个站中日最高气温为正距平的数值,同上面划分得到 5 个等级(表 6)。

2　广东气候年景的客观定量化评估

2.1　广东气候年景的年际和年代际变化

根据以上评估方法建立了广东雨涝、低温、干

表 6 广东高温年景指数的阈值(高温年景指数已标准化)

Table 6 Threshold of index for high temperature annual climate status in Guangdong

高温指数的阈值	高温年景等级	高温年景评估结果
$I_{hot} \leqslant -0.90$	1	好
$0.90 < I_{hot} \leqslant -0.25$	2	较好
$-0.25 < I_{hot} \leqslant 0.55$	3	一般
$0.55 < I_{hot} \leqslant 1.55$	4	较差
$I_{hot} > 1.55$	5	差

旱、高温的客观定量评估模型并计算得到 1961—2017 年广东年雨涝指数和异常等级、年低温指数和异常等级、年高温指数和异常等级、年干旱指数和异常等级以及相应的 4 个年景指数系列,在此基础上对这 4 个年景指数系列进行标准化再加权累加,得到广东气候年景指数系列。下面分析这 4 个系列的年际、年代际变化特征(图 1)。

图 1a 是近 57 a 广东雨涝年景指数的变化。可见,雨涝年景指数存在明显的年际变化特征,对应的雨涝年景指数最大,即雨涝年景评估为差的年份有 5 a:1973 年、1993 年、1994 年、2001 年和 2008 年,指数最大出现在 2008 年,这与 2008 年广东出现强"龙舟水",造成严重洪涝灾害相吻合(王婷等,2008),其他 4 a 雨涝严重年与广东历史上洪涝灾害一致(宋丽莉,2006)。可见雨涝最重的 5 a 中有 4 a 出现在 1994 年以来,说明 1994 年以来严重雨涝年增加明显。指数最小,即雨涝年景评估为好的年份也有 5 a:1962 年、1963 年、1967 年、1989 年、2004 年,这几年洪涝最轻,对应的干旱重。如 1963 年是大旱年,1989 年广东大部分地区出现了夏、秋连旱。从雨涝年景指数的多项式变化曲线看,雨涝年代际变化明显。1960 年代、1980 年代雨涝偏轻,1990 年代以来雨涝偏重。近 57 a 来,雨涝年景指数的线性趋势以 1.17/(10 a) 的速率上升,通过 0.05 信度的显著性水平检验,上升趋势明显,说明广东雨涝增加明显。

图 1b 是近 57 a 广东低温年景指数的变化。可见低温年景指数存在明显的年代际变化特征,20 世纪 60 年代到 70 年代初,广东低温年景指数最低,说明低温强度强,70 年代中期到现在,低温年景指数以偏弱为主。所以位于低纬的广东低温指数的变化与近 16 a 来欧洲西北部、西伯利亚以及东亚地区冬季冷强度增强趋势(谢韶青和卢楚翰,2018)相反。广东低温年景指数最小,即年景评估为差的年份有 5 a:1962 年、1963 年、1969 年、1967 年和 1964 年。可见低温冷害严重的年份前 5 位出现在 20 世纪 60 年代。年景指数较差的年份有 2008 年、1996 年、1968 年等 13 a。2008 年 1 月中国南方出现了大范围低温雨雪冰冻天气过程,由于持续时间长,对交通、电力、农业和人民生活等造成了巨大的影响(彭艳等,2010;张韧等,2012;王遵娅,2014)。低温指数最高的 5 a 是:1991 年、2002 年、1997 年、1973 年和 1998 年。近 57 a 来,广东低温年景指数的线性趋势以 1.25/(10 a)的速率上升,通过 0.05 信度的显著性水平检验,上升趋势明显,说明低温在减少。

图 1c 为近 57 a 广东干旱年景指数的变化。可见指数的年际变化明显,干旱年景评估为差的年份有 5 a:1963 年、1966 年、1977 年、2004 年和 2005 年,指数最小出现在 1963 年,1963 年是广东的大旱年,严重影响农业生产和人畜饮水。纪忠萍等(2007)分析指出 1963 年为 1957 年以来广东干旱最严重的一年。2005 年华南出现典型秋旱(曾刚和高琳慧,2017),给农业生产和人民生活造成了严重影响。指数最大,即评估等级为好的年份也有 5 a:2001 年、2016 年、1978 年、1972 年、1975 年。从干旱年景指数的多项式变化曲线看,20 世纪 60 年代、80 年代到 21 世纪 00 年代后期干旱年景偏重,20 世纪 70 年代以及 21 世纪 10 年代以来干旱年景偏轻,年代际变化明显。近 57 a 来,干旱年景指数的线性趋势以 0.08/(10 a)的速率上升,没有通过 0.05 信度的水平显著性检验,上升趋势不明显。

图 1d 是近 57 a 广东高温年景指数的变化。从高温年景指数的多项式变化曲线可见,高温年景指数存在明显的年代际变化,20 世纪 60 年代到 70 年代中期、2000 年以来我省高温处于偏弱的年景,而 20 世纪 70 年代中期到 90 年代末、21 世纪 00 年代高温处于强的年景。对应的高温年景指数最大的年份有 5 a:1998 年、1990 年、1989 年、1992 年和 1986 年,最大出现在 1998 年。1998 年受强厄尔尼诺事件的影响,全球很多地方出现高温热浪,我国气温异常偏高(王丽华,1999;张清,1999)。高温年景指数最小,即评估等级为好的年份有 9 a:1963 年、1976 年、1997 年等。近 57 a 来,高温年景指数的线性趋势以 0.06/(10 a)的速率上升,没有通过 0.05 信度的显著性水平检验,上升趋势不明显。但近年来高温天气频繁,2018 年 5 月江南南部和华南等地出现了持续的高温天气(张芳华等,2019)。

图 1e 是近 57 a 广东气候年景指数的逐年变化,综合考虑了雨涝、低温、干旱、高温的气候年景指

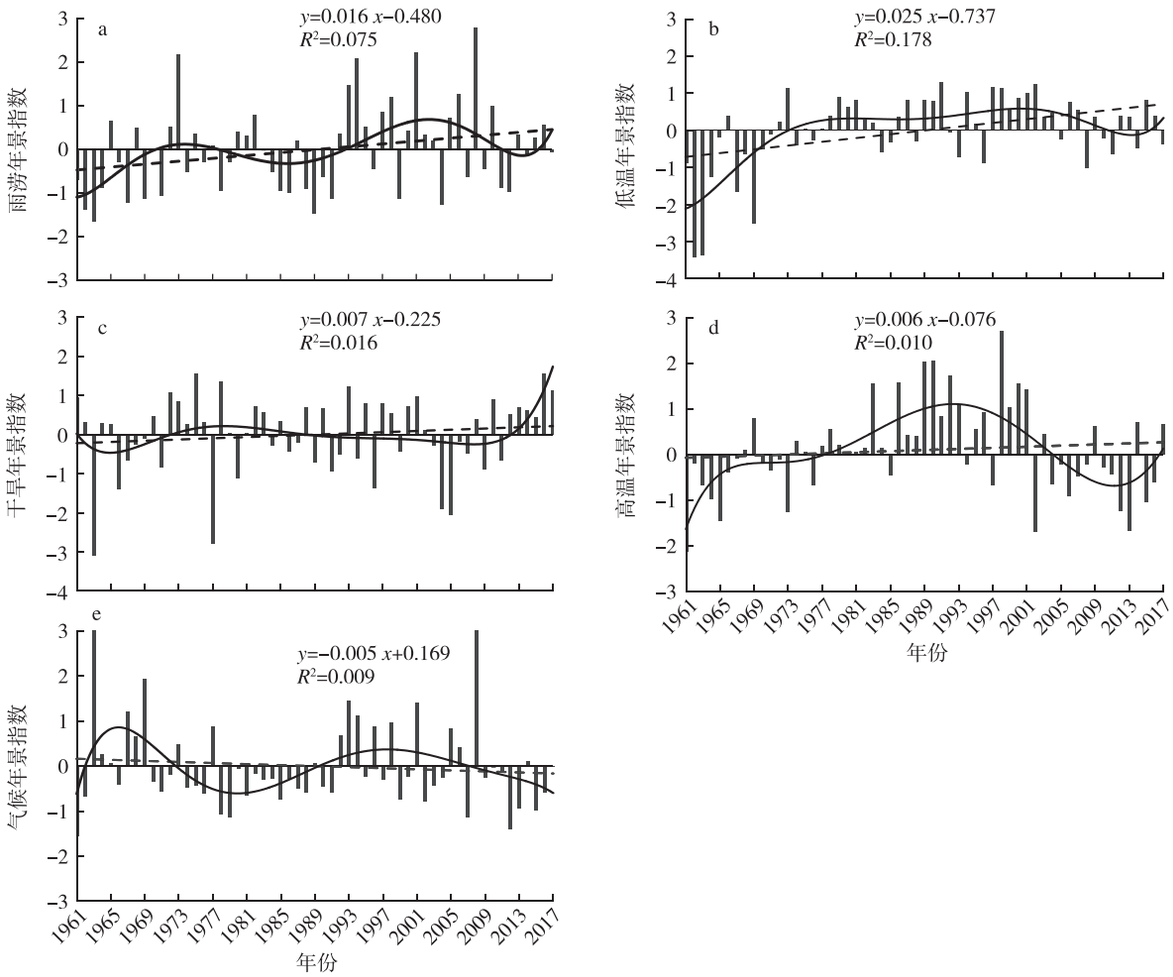

图 1　1961—2017 年广东气候年景指数的年变化：(a)雨涝；(b)低温；(c)干旱；(d)高温；(e)综合

Fig.1　Annual variations of the index of annual climate status in Guangdong from 1961 to 2017: (a) rain-waterlogging; (b) low temperature; (c) drought; (d) high temperature; (e) synthesis

数。可见，近 57 a 来标准化的气候年景指数介于 −1.56~3.94，存在明显的年际和年代际变化。1961 年的气候年景最好（气候年景指数为 −1.56），1963 年的气候年景最差（气候年景指数为 3.94）。1961 年低温年景评估是较差，高温年景评估为好，雨涝和干旱年景评估是较好，综合的气候年景评估是好。实际的情况是 1961 年除 1 月中旬至 2 月 16 日的寒潮对广东有冻害影响外，其他暴雨、低温、干旱影响轻、损失小。从 1963 年广东发生大旱和严重低温冷害（宋丽莉，2006），干旱和低温的年景评估均为差，高温和雨涝评估分别为较好和好，综合气候年景评估为差。从气候年景指数的多项式变化曲线看，20 世纪 60 年代、90 年代到 21 世纪 00 年代后期气候年景偏差，20 世纪 70 年代、21 世纪 00 年代以来气候年景偏好，可见气候年景的年代际变化明显。近 57 a 来，气候年景指数的线性趋势以 0.06/(10 a) 的速率下降，即年景有向好的趋势，但没有通过 0.05 信度的显著性水平检验，趋势不显著。

表 7 为 1961—2017 年广东气候年景评估的具体结果。统计表明，在 1961—2017 年出现年景评估为差和较差的年份有 15 a，占 26.3%，其中差的年份有 5 a，占总年份的 8.8%；较差的年份有 10 a，占总年份的 17.5%；一般的年份有 23 a，占总年份的 40.4%；较好的年份有 11 a，占总年份的 19.3%。好的年份有 8 a，占总年份的 14.0%；好和较好的年份占总年份的 33.3%，比差和较差年份占总年份的比例（26.3%）要高 7%，说明出现较好和好年景的概率大于较差和差年景的概率。

从 1961—2017 年广东各年代出现不同年景等级统计（表 8）得出，各年代的年景差年出现的比例在 20 世纪 60 年代最多，较差年景出现的比例在 20 世纪 90 年代最多（40%），一般年景出现的比例在

表 7 近 57 a 广东气候年景评估结果

Table 7 Assessment result of annual climate status in the past 57 years in Guangdong

气候年景评估级等级	年份
差(5 级)	1963 年、2008 年、1969 年、1993 年、2001 年
较差(4 级)	1967 年、1968 年、1973 年、1977 年、1994 年、1996 年、1998 年、2005 年、2006 年
一般(3 级)	1964 年、1965 年、1966 年、1970 年、1972 年、1975 年、1980 年、1982 年、1983 年、1984 年、1986 年、1989 年、1990 年、1995 年、1997 年、2000 年、2003 年、2004 年、2009 年、2010 年、2011 年、2014 年、2017 年
较好(2 级)	1962 年、1971 年、1974 年、1976 年、1981 年、1985 年、1987 年、1988 年、1991 年、1999 年、2016 年
好(1 级)	1961 年、1978 年、1979 年、2002 年、2007 年、2012 年、2013 年、2015 年

表 8 广东各年代出现不同气候年景等级统计(1961—2017 年)

Table 8 Frequency and ratio of different level of annual climate status in every agein Guangdong from 1961 to 2017

时间	平均年景指数	年景差年		年景较差年		年景一般年		年景较好年		年景好年	
		年数/a	占比/%	年数/a	占比/%	年数/a	占比/%	年数/a	占比/%	年数/a	占比/%
1961—1969 年	0.6	2	22.2	2	22.2	3	33.3	1	11.1	1	11.1
1970—1979 年	-0.35	0	0.0	2	20.0	3	30.0	3	30.0	2	20.0
1980—1989 年	-0.35	0	0.0	0	0.0	6	60.0	4	40.0	0	0.0
1990—1999 年	0.28	1	10.0	4	40.0	3	30.0	2	20.0	0	0.0
2000—2009 年	0.26	2	20.0	2	20.0	4	40.0	0	0.0	2	20.0
2010—2017 年	-0.49	0	0.0	0	0.0	4	50.0	1	12.5	3	37.5

20 世纪 80 年代最高(60%)。较好年景出现的比例在 20 世纪 80 年代最高(40%)。好年景年在 2010 年以来出现的比例最高(37.5%)。计算得出,年代平均年景指数最高出现在 20 世纪 60 年代(0.6),说明 60 年代年景最差的,其次是 90 年代(0.28),第三是 21 世纪 00 年代(0.26),最好年景出现在 2010 年以来。

2.2 广东气候年景评估与实况检验

广东气候年景为差和较差的年份与《中国气象灾害大典:广东卷》(宋丽莉,2006)、1994—2017 年《广东省防灾减灾年鉴》、2002—2017 年广东省气候公报等记录的灾害事实绝大部分年份一致。气候年景为差的年份,广东出现造成重大社会影响或严重经济损失和人员伤亡的低温、暴雨、干旱等极端天气气候事件。而气候年景好的年份风调雨顺,灾害损失小,无重大极端天气气候事件发生。

气候年景评估为差的年份是:1963 年、1969 年、1993 年、2001 年、2008 年这 5 a。1963 年广东出现了历史罕见的特大干旱,且 1963 年 1—2 月低温冷害异常重。1969 年有造成巨大伤亡的 6903 号台风。1993 年 1 月中、下旬强寒潮导致广东直接经济损失达 41 亿元。5—6 月广东洪涝灾害重,后汛期 9316 号台风影响严重,并有春、秋旱发生。2001 年 0104 号台风“尤特”和西南季风结合,重创粤东(陈超等,2015)。在 2008 年,受拉尼娜和厄尔尼诺的影响,我国气候极端异常(徐雨晴等,2009;张培群等,2009)。2008 年广东遭遇强台风“黑格比”,史上最强“龙舟水”、低温雨雪冰冻灾害,导致广东直接经济损失约 421.7 亿元,是 21 世纪以来平均经济损失的 4 倍,125 人因气象灾害死亡。

因 1994 年开始编制《广东省防灾减灾年鉴》,才有广东每年的气象灾害造成的直接经济损失、人员伤亡等统计。为了检验年景指数评估结果能否客观反映年景实况,分析 1994—2017 年广东气候年景指数逐年变化、评估等级与逐年广东是否包含台风造成的直接经济损失(表 9)的关系。计算得到 1994—2017 年的气候年景指数系列与不含台风损失系列的相关系数为 0.47,通过 0.05 显著性水平检验,相关显著,说明广东气候年景指数系列总体上与实况灾损吻合,能客观反映气候年景的总体特征。广东加上台风灾情后的直接经济损失与不加台风灾情的直接经济损失这两个系列的相关系数达 0.66,

通过 0.001 信度的显著性水平检验，相关非常显著，因此气候年景系列能反映广东气候年景的总体特征。

表 9　1994—2017 年广东气候年景指数逐年变化与台风造成的直接经济损失的联系

Table 9　Statistical table of variations for the annual climate status indexes and direct economic loss containing typhoons in Guangdong from 1994 to 2017

年份	气候年景指数	评估等级	不含台风损失/亿元	含台风损失/亿元
1994	1.11	4(较差)	170	262.4
1995	-0.23	3(一般)	10.83	120.6
1996	0.88	4(较差)	51.72	253.53
1997	-0.29	3(一般)	37.916	100.48
1998	0.96	4(较差)	60.924	66.09
1999	-0.73	2(较好)	114.733	145.89
2000	-0.23	3(一般)	9.529	30.86
2001	1.40	5(差)	11.867	87.84
2002	-0.77	1(好)	36.875	61.26
2003	-0.43	3(一般)	10.601	69.55
2004	-0.25	3(一般)	22.899	26.6
2005	0.82	4(较差)	64.759	74.75
2006	0.42	4(较差)	23.652	310.64
2007	-1.14	1(好)	29.03	53.93
2008	3.06	5(差)	269.216	421.58
2009	-0.25	3(一般)	16.068	64.38
2010	-0.02	3(一般)	58.589	154.11
2011	-0.10	3(一般)	13.847	39.24
2012	-1.41	1(好)	29.259	73.86
2013	-0.93	1(好)	189.835	482.78
2014	0.11	3(一般)	80.289	316.49
2015	-0.98	1(好)	22.319	308.11
2016	-0.58	2(较好)	102.945	164.85
2017	-0.02	3(一般)	21.6	316.1

1994—2017 年出现超强或强台风级别登陆广东的年份有 6 a，平均每年台风造成的损失高达 186.9 亿元，导致年景偏差到差。而无超强台风或强台风登陆广东的年份平均每年台风造成的损失仅为 57.2 亿元，有无强台风年份损失相差达 4 倍。评估存在偏差与没考虑台风的风力致灾因素的影响有关。所以考虑有超强或强台风登陆广东的年份，年景可定性评价为偏差或差，强台风作为一个年景指数的加分项目，但在长序列的年景评估指数里如何体现，且 1981 年以前绝大部分站点无最大风速数据，年景指数系列如何保持客观一致并具可比性等将是下一步研究的重点。

3　结论与讨论

利用 1961—2017 年广东 86 个国家气象观测站逐日降水、气温资料和逐日气象干旱指数 DI，从雨涝、低温、干旱和高温这 4 个方面建立了客观定量的评估模型并计算得到近 57 a 的广东气候年景指数，得出如下结论。

1）近 57 a 广东雨涝年景指数年景评估为差的年份有 5 a，最差出现在 2008 年。20 世纪 60、80 年代雨涝偏轻，90 年代以来雨涝偏重。近 57 a 来，雨涝年景指数的线性趋势以 1.17/(10 a)的速率显著上升，雨涝在增加。

2）近 57 a 广东低温年景指数在 20 世纪 60 年代到 70 年代初最低，70 年代中期后低温年景指数以偏弱为主。广东低温年景评估为差的年份有 5 a。近 57 a 来，广东低温年景指数的线性趋势以 1.25/(10 a)的速率显著上升，说明低温在减少。

3）20 世纪 60、80 年代到 21 世纪 00 年代后期广东干旱年景偏重，20 世纪 70 年代以及 21 世纪 10 年代以来广东干旱年景偏轻，年代际变化明显。近 57 a 来，广东干旱年景指数的线性趋势以 0.08/(10 a)的速率上升，但上升趋势不明显。

4）近 57 a 广东高温年景指数存在明显的年代际变化，20 世纪 60 年代到 70 年代中期、21 世纪 00 年代以来我省高温处于偏弱的年景，而 20 世纪 70 年代中期到 90 年代末，21 世纪 00 年代高温处于强的年景。近 57 a 来，高温年景指数的线性趋势以 0.06/(10 a)的速率上升，但上升趋势不明显。

5）近 57 a 广东气候年景指数存在明显的年际变化特征，对应的气候年景评估为差的年份有 5 a，其中 1963 年的气候年景为最差，其次是 2008 年，而这 5 a 气候年景评估为差的年份也和历史上广东的大灾相联系。20 世纪 60 年代、90 年代到 21 世纪 00 年代后期气候年景偏差，20 世纪 70 年代、21 世纪 00 年代以来气候年景偏好，可见气候年景的年代际变化明显。近 57 a 来，气候年景指数的线性趋势以 0.06/(10 a)的速率下降，即年景有向好的趋势，但不明显。

6）气候年景评估能客观定量表征气候年景，评估与实况验证大部分年份吻合，但在超强或强台风级别登陆广东的年份，有的年份评估与实况存在偏差，这主要是未考虑台风的风力致灾因素的影响所导致。所以考虑在超强或强台风登陆广东的年份，作为一个年景指数的加分项目，年景可定性评价为偏差或差。

因 1981 年以前广东 82 个国家气象观测站无最大风速数据，1981 年以后的年大风指数系列如何考虑到长序列(1961—2017 年)的气候年景指数系列

里,年景指数系列如何保持客观一致,并具可比性等将是下一步台风评估研究的重点。

致谢:审稿专家对文章提出宝贵的修改意见。陈慧华、刘蔚琴分别提供 DI 资料和风速资料。

参考文献(References)

陈超,卢山,任志杰,等,2015.强西南季风背景下 1311 号台风"尤特"的暴雨特征分析[J].广东气象,37(2):13-17. Chen C,Lu S,Ren Z J,et al.,2015.Characteristics of utor-associated rainstorm under strong southwest monsoon background[J].Guangdong Meteor,37(2):13-17.(in Chinese).

陈慧华,王春林,段海来,等,2016.广东省晚稻干旱灾害评估及其特征分析[J].中山大学学报(自然科学版),55(3):15-21. Chen H H,Wang C L,Duan H L,et al.,2016.Drought disaster evaluation model and characteristics of late rice in Guangdong[J].Acta Sci Nat Univ Sunyatseni,55(3):15-21.(in Chinese).

广东省防灾减灾年鉴编写组,2017.广东省防灾减灾年鉴(1994—2017 年卷)[M].广州:岭南美术出版社. The writing group of disaster prevention and mitigation yearbook in Guangdong province,2017.The yearbook of disaster prevention and mitigation in Guangdong Province (Volume 1994—2017) [M].Guangzhou:Lingnan Art Publishing House.(in Chinese).

纪忠萍,谢炯光,2000.广东省春季低温阴雨的年景变化趋势分析[J].热带气象学报,16(1):76-84. Ji Z P,Xie J G,2000.The analysis for the yearly prospect of cold and rainy weather in Guangdong Province[J].J Trop Meteor,16(1):76-84.(in Chinese).

纪忠萍,谷德军,易爱明,等,2007.近 48 年来广东春旱的变化[J].自然灾害学报,16(5):59-64. Ji Z P,Gu D J,Yi A M,et al.,2007.Variation of spring drought in Guangdong Province in recent 48 years[J].Journal of Natural Disasters,16(5):59-64.(in Chinese).

纪忠萍,高晓容,谷德军,等,2013.广东低温阴雨的低频振荡及环流特征[J].应用气象学报,24(1):32-42. Ji Z P,Gao X R,Gu D J,et al.,2013.The low frequency oscillation and circulation characteristics of cold rainy weather in Guangdong[J].J Appl Meteor Sci,24(1):32-42.(in Chinese).

罗艳艳,何金海,邹燕,等,2015.华南前汛期雨涝强、弱年的确定及其环流特征对比[J].气象科学,35(2):160-166. Luo Y Y,He J H,Zou Y,et al.,2015.Determination of strong and weak rain-waterlogging years in pre-rainy season over South China and their circulation features comparison [J].J Meteor Sci,35(2):160-166.(in Chinese).

彭艳,王钊,刘安麟,等,2010. 2008 年 1 月中国南部低温雨雪冰冻天气特征及其与东亚大气环流异常探讨[J].大气科学学报,33(5):634-640. Peng Y,Wang Z,Liu A L,et al.,2010.Characteristics of the freezing rain/heavy snow process in South China and the anomalies of atmospheric circulation over east Asia in January 2008[J].Trans Atmos Sci,33(5):634-640.(in Chinese).

石磊,王胜,盛绍学,2012.近 50 年安徽省气候年景评估方法[J].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[J].Geogr Res,31(9):1580-1588.(in Chinese).

宋丽莉,2006.中国气象灾害大典:广东卷[M].北京:气象出版社. Song L L,2006.China meteorological disaster dictionary:Guangdong volume [M].Beijing:China Meteorological Press.(in Chinese).

孙家民,黄朝迎,2005.中国农业气候年景的评估及预测[J].应用气象学报,16(B03):111-115. Sun J M,Huang C Y,2005.Assessment and prediction for annual agricultural climate status in China[J].J Appl Meteor Sci,16(B03):111-115.(in Chinese).

王春林,段海来,邹菊香,等,2014.华南早稻干旱灾害评估模型及其时空特征[J].中国农学通报,30(18):40-48. Wang C L,Duan H L,Zou J X,et al.,2014.Drought disaster evaluation model and temporal-spatial characteristics of early rice in South China[J].Chin Agric Sci Bull,30(18):40-48.(in Chinese).

王丽华,1999. 1998 年全球重大气候事件概述[J].气象,25(4):30-33. Wang L H,1999.Significant climate events in the world during 1998[J].Meteor Mon,25(4):30-33.(in Chinese).

王婷,胡娅敏,潘蔚娟,2008. 2008 年广东"史上最强龙舟水"的气候成因[J].广东气象,30(4):5-7. Wang T,Hu Y M,Pan W J,2008.Climate causation analysis of the strongest dragon-boat precipitation in Guangdong Province in 2008[J].Guangdong Meteor,30(4):5-7.(in Chinese).

王遵娅,2014.近 50 年中国大范围持续性冰冻天气过程的变化特征[J].高原气象,33(1):179-189. Wang Z Y,2014.Change features of the extensive and persistent ice-freezing processes of China in recent 50 years[J].Plateau Meteor,33(1):179-189.(in Chinese).

伍红雨,邹燕,刘尉,2019.广东区域性暴雨过程的定量化评估及气候特征[J].应用气象学报,30(2):233-244. Wu H Y,Zou Y,Liu W,2019.Quantitative assessment of regional heavy rainfall process in Guangdong and its climatological characteristics[J].J Appl Meteor Sci,30(2):233-244.(in Chinese).

谢韶青,卢楚翰,2018.近 16 a 来冬季欧亚大陆中纬度地区低温事件频发及其成因[J].大气科学学报,41(3):423-432. Xie S Q,Lu C H,2018.Intensification of winter cold events over the past 16 years in the mid-latitudes of Eurasia and their causes[J].Trans Atmos Sci,41(3):423-432.(in Chinese).

徐良炎,高歌,2005.近 50 年台风变化特征及灾害年景评估[J].气象,31(3):41-45. Xu L Y,Gao G,2005.Features of typhoon in recent 50 years and annual disaster assessment[J].Meteor Mon,31(3):41-45.(in Chinese).

徐雨晴,苗秋菊,沈永平,2009. 2008 年:气候持续变暖,极端事件频发[J].气候变化研究进展,5(1):56-60. Xu Y Q,Miao Q J,Shen Y P,2009.The year 2008:global warming continued,extreme events occurred frequently[J].Adv Clim Chang Res,5(1):56-60.(in Chinese).

尹宜舟,李焕连,2017.我国台风灾害年景预评估方法初探[J].气象,43(6):716-723. Yin Y Z,Li H L,2017.Preliminary study on pre-evaluation method of typhoon disaster in China[J].Meteor Mon,43(6):716-723.(in Chinese).

曾刚,高琳慧,2017.华南秋季干旱的年代际转折及其与热带印度洋热含量的关系[J].大气科学学报,40(5):596-608.　Zeng G,Gao L H,2017. Decadal shift of autumn drought in South China and its relationship with heat content in tropical Indian Ocean[J].Trans Atmos Sci,40(5):596-608.(in Chinese).

张芳华,陶亦为,高辉,等,2019. 2018 年春末南方极端持续高温及 MJO 影响[J].大气科学学报,42(1):100-108.　Zhang F H,Tao Y W,Gao H, et al.,2019.Persistent extreme high temperature event in Southern China in late spring of 2018 and the effect of Madden-Julian Oscillation[J]. Trans Atmos Sci,42(1):100-108.(in Chinese).

张培群,贾小龙,王永光,2009. 2008 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响[J].气象,35(4):112-117.　Zhang P Q,Jia X L,Wang Y G, 2009.Anomalies of ocean and general atmospheric circulation in 2008 and their impacts on climate anomalies in China[J].Meteor Mon,35(4): 112-117.(in Chinese).

张清,1999. 1998 年我国天气气候特点[J].气象,25(4):26-29.　Zhang Q,1999.Some characteristics of weather/climate in China in 1998[J]. Meteor Mon,25(4):26-29.(in Chinese).

张韧,洪梅,刘科峰,等,2012. 2007/2008 年冬季雨雪冰冻灾害的副热带高压环流背景与变异特征[J].大气科学学报,35(1):1-9.　Zhang R, Hong M,Liu K F,et al.,2012.Subtropical high circulation background and its variation characters in a serious cold rain-snow frost disaster in winter of 2007/2008[J].Trans Atmos Sci,35(1):1-9.(in Chinese).

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[J].应用气象学报,25(3):360-364.　Zou Y,Ye D X,Lin Y,et al., 2014.A quantitative method for assessment of regional heavy rainfall intensity[J].J Appl Meteor Sci,25(3):360-364.(in Chinese).

邹燕,伍红雨,林昕,等,2019.气候年景定量化评价方法[J].气象学报,77(6):1124-1133.　Zou Y,Wu H Y,Lin X,et al.,2019.A quantitative method for the assessment of annual state of climate[J].Acta Meteorol Sin,77(6):1124-1133.(in Chinese).

Objective assessment of annual climate status in Guangdong

WU Hongyu[1,2],ZOU Yan[3],GUO Yao[4]

[1] *Climate Center of Guangdong Province*,*Guangzhou* 510641,*China*;

[2] *Institute of Tropical and Marine Meteorology Guangdong Provincial Key Laboratory of Regional Numerical Weather Prediction*,*China Meteorological Administration*,*Guangzhou* 510641,*China*;

[3] *Climate Center of Fujian Province*,*Fuzhou* 350001,*China*;

[4] *University of Southern California*,*Los Angeles* 90007,*USA*

Using daily precipitation and temperature of 86 meteorological observation stations in Guangdong from 1961 to 2017,along with meteorological drought index data DI,the objective and quantitative assessment methods for annual climate status in Guangdong were established,with comprehensive consideration of the four aspects of rain-waterlogging,low temperature,drought and high temperature.The annual climate status in Guangdong was objectively and quantitatively assessed,and actual disaster situations were used to verify the evaluation results.The results show that the trend of the annual climate status index of the rain-waterlogging and drought in Guangdong has not changed significantly over the past 57 years;however,the annual climate status index of low temperature decreased dramatically,while the annual climate status index of high temperature increased substantially.The annual climate status index of the rain waterlogging in Guangdong decreased at a rate of 0.06/10 a over the past 57 years,but the trend was not obvious.The evaluation results of the annual climate status were consistent with the disaster situation.The evaluation results reveal that there were five poor climate years,namely 1963,1969,1993, 2001 and 2008.The research results provide a technical basis for the objective and quantitative climate assessment business and decision-making services performed in Guangdong.

Annual climate status;objective assessment;Guangdong

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20190325001

(责任编辑:刘菲)