

陆杰英,孙丽颖,王春林,等. 基于 PDSI 指数的近 40 年广东干旱特征分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(1):36–40.

Lu Jieying, Sun Liying, Wang Chunlin, et al. Analysis of drought characteristics in Guangdong in recent 40 years based on PDSI index [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(1): 36–40.

基于 PDSI 指数的近 40 年广东干旱特征分析

陆杰英¹, 孙丽颖¹, 王春林^{2,3*}, 翟志宏², 吴健达¹

(1.广东省广州市增城区气象局, 广州 511300; 2.广州市气候与农业气象中心, 广州 511430;

3.环珠江口气候环境与空气质量变化野外科学观测研究站, 广东 珠海 519082)

摘要: 利用 1979 年 1 月—2021 年 2 月广东省 86 个国家气象观测站的月平均降水、气温资料以及同期的土壤有效含水量数据,应用数理统计等方法,分析广东干旱指数 PDSI 时空变化特征,揭示广东近 40a 干旱变化趋势。结果表明,近 40a 广东地区 PDSI 指数呈轻微干化趋势,降速为 $0.005 \cdot (10a)^{-1}$,2004 年 PDSI 为 -1.47,是最干旱年份。春季 PDSI 指数下降趋势最明显,秋季发生干旱频率最高,夏季最低。PDSI 指数月趋势呈多波动现象,最低值为 -2.2,出现在 2004 年 12 月。近 40a 干旱发生频率介于 4.8%~26.1%,粤西是干旱高频地区;广东地区呈两边干化、中部湿化的变化趋势分布格局,粤西阳春干化最明显。

关键词: PDSI; 干旱频率; 广东地区

中图分类号: P426

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.1.07

引言

广东地处热带和亚热带地区,是中国光、热、水资源特别丰富的地区,气候温暖,雨量充沛,四季水果飘香,特别是荔枝、香蕉、柑橘、菠萝是中国重要的水果生产基地,然而该地区旱涝灾害时有发生,给当地农业生产带来不利影响。

近年来,Dai^[1]认为全球气象干旱呈增加趋势。国内不少学者的研究也表明,1960 年以来,中国气象干旱程度在加重,范围也在增加^[2,3]。Shi 等^[4]发现,南北方的干旱特征发生了改变,北方干旱的同时,南方干旱变得更加明显。当前已有的研究大多仍以中国北方干旱区为主要研究区域,往往忽视湿润地区的干旱研究,所以研究广东地区的干旱特征具有重要意义。

降水持续偏少是气象干旱重要的特征,因此,许多常用的气象干旱指数都以降水量为唯一考虑要素使用不同原理计算得到的^[5]。1965 年 Palmer^[6]建立了帕默尔干旱指数 (Palmer drought severity index,

PDSI),该指数考虑了土壤水分以及蒸散发,相校对于其他气象干旱指数,PDSI 物理意义清晰明确,是研究和检测气象干旱应用最为广泛的指标之一。本研究使用广东省 86 个国家气象观测站提供的月降水和月平均气温气象要素,以及土壤有效含水量数据构建 PDSI 指数,探讨广东地区近 40a 以来的干旱频率和时间变化特征,以期为广东省干旱研究提供参考。

1 资料和方法

1.1 数据来源

文中研究构建 PDSI 指数所用的气象数据取自广东省 86 个国家气象观测站 1979 年 1 月—2021 年 2 月近 40a 的月平均降水以及月平均气温数据,使用 Dai 等^[1]制作面向陆面过程模型的中国土壤水文数据集的田间持水量和凋萎系数,计算土壤有效含水量(AWC)数据,作为 PDSI 指数的输入。年际研究时段为 1979—2020 年,月研究时段为 1979 年 1 月—2020 年 12 月;在季节的划分上,将

收稿日期: 2021-11-19

基金项目: 广东省农业科技创新及推广项目(2020KJ102)、广州市气象局都市气候与农业气象创新团队项目

作者简介: 陆杰英(1982—),女,广东人,本科,工程师。研究方向:应用气象。E-mail:20139478@qq.com

春季定义为 3—5 月,夏季 6—8 月,秋季 9 至 11 月,冬季为 12 月—次年 2 月(为使各季节指数长度一致,季节分析使用资料扩展到 2021 年 2 月)。

为验证计算结果的准确性,使用应用较为广泛^[5]的英国 East Anglia 大学气候研究中心(CRU)1979 年 1 月—2021 年 2 月逐月干旱自校正 PDSI 数据(CRU-scPDSI 空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$),对计算的 PDSI 指数进行时空验证,两者相关性达到 0.76,空间分布较一致。

1.2 研究方法

1.2.1 PDSI 计算方法

PDSI 指数基于一个简易的两层土壤水分收支模型,综合考虑了温度、降水及下垫面的影响,其中温度的影响通过蒸发表现,下垫面通过 AWC 表现。关于 PDSI 指数的具体算法可参考 Palmer^[6]。PDSI 计算方法大致如下:

首先计算出各时期的气候适宜降水量,并以实际降水量减去获得水分亏缺量,然后对用气候修正系数进行气候修正获得水分亏缺指数,最后使用持续时间因子对水分亏缺指数进行处理,获得考虑了前期水分条件影响的最终的 PDSI 值。PDSI 的时间尺度有逐周和逐月两种,目前应用最广的为月尺度的 PDSI,故本研究采用月尺度的 PDSI 数据资料,以下以月尺度 PDSI 的计算为例。

PDSI 构建的主要输入为降水、气温、土壤有效含水量,基于水量平衡原理建立水平衡方程,计算水分距平 d :

$$d = P - \bar{P} = P - (\alpha P_E + \beta P_R + \gamma P_{R0} - \sigma P_L) \quad (1)$$

式中, P 为实际降水量; \bar{P} 为气候适宜降水量; P_E 为潜在蒸散量,本文蒸发的估算方法为 Thornthwaite^[7]方法; P_R 为土壤潜在供给量; P_{R0} 为潜在径流量; P_L 为土壤潜在失水量; α 、 β 、 γ 、 σ 分别为蒸散系数、土壤水供给系数、径流系数和土壤水损失系数。水分距平 d 与该地某月份的气候权重系数 K 相乘,得到水分异常指数 Z ,进而计算出 PDSI 指数:

$$I_{PDSI} = 0.897 I_{PDSI-1} + Z_i / 3 \quad (2)$$

式中, I_{PDSI} 为当月指数, I_{PDSI-1} 为上一个月指数,对于 1979 年 1 月,本文给定了一个初值为 $Z_i/3$, Z_i 为当月水分异常指数,因此后续的计算则可以在前一个月值的基础上进行。

本文使用美国内布拉斯-林肯大学研究人员发布的 PDSI 计算程序^[1-7],输入 1979 年 1 月到 2021 年 2 月的逐月降水、气温和 AWC 数据后,输出和降

水长度一致的 PDSI 数据(此处选择到 2021 年 2 月是为了方便用于季节的完整性计算)。帕默尔干旱指数(PDSI)是一个基于水量供需关系的干旱指数,在当地水分供不应求时即为干旱,否则为湿润。帕默尔^[6]计算了 PDSI 值通常介于 $-4 \sim 4$ 之间,不同大小的值反映不同的干旱或湿润等级。PDSI 干旱等级划分标准如表 1 所示。

表 1 干湿等级划分

PDSI	干旱等级	PDSI	干旱等级
[4.0, +∞)	极度湿润	(-1.0, 1.0)	正常
[3.0, 4.0)	严重湿润	(-2.0, -1.0]	轻微干旱
[2.0, 3.0)	中等湿润	(-3.0, -2.0]	中等干旱
[1.0, 2.0)	轻微湿润	(-4.0, -3.0]	严重干旱
		(-∞, -4.0]	极端干旱

2 结果与分析

2.1 广东地区干旱时间演变特征

2.1.1 年际变化特征

图 1 给出 1979 年—2020 年广东地区 PDSI 指数年际变化情况。分析发现,近 40a 广东地区 PDSI 指数呈现略微下降趋势,降速为 $0.005 \cdot (10a)^{-1}$,但未能通过信度 0.05 的检验,表明对于处在亚热带的广东地区来说,干旱化趋势并不明显。从年代际变化来看,20 世纪 80—90 年代大部分年份的 PDSI 指数属于正常等级($-1 < PDSI < 1$),只有 1983 年 PDSI 指数达到轻微湿润等级($2 < PDSI \leq 1$)。21 世纪 00 年代年 PDSI 指数大部分年份属于正常等级,只有 2003 年、2004 年、2005 年 PDSI 指数达到轻微干旱等级($-2 < PDSI \leq -1$),即该年代为干化较为明显的年代。而进入 21 世纪 10 年代后,PDSI 指数较前期有所增大,只有 2020 年 PDSI 指数 -1.0 达到轻微干旱等级。研究时段内只有 4 个年份 PDSI 指数达到干旱等级,分别是 2003 年、2004 年、2005 和 2020 年,均为轻微干旱等级。由于 PDSI 指数综合考量了土壤有效含水量以及蒸散发等综合性较强因素,上述年份 PDSI 指数显示达到干旱等级的,实况均发生干旱事件但干旱程度略有偏差,表明 PDSI 指数对判断干旱事件发生有指示意义,但干旱程度略有偏差需根据实际情况稍作调整。

综上所述,广东地区 PDSI 指数整体呈现不显著的轻微干化趋势,降速为 $0.005 \cdot (10a)^{-1}$ 。其中,

2004 年 PDSI 值为-1.47,为 40a 内最低值,该时段降水最少是研究时间段内广东地区年尺度上最干旱的年份。

2.1.2 季节变化特征

通过分析干旱指数 PDSI 季节变化特征,发现一年四季 PDSI 指数均呈不同程度的下降趋势(均未通过显著性检验),其中春季下降趋势最明显,降速为 $0.2 \cdot (10a)^{-1}$;夏季、秋季、冬季均呈略微下降趋势,降速分别为 $0.007 \cdot (10a)^{-1}$ 、 $0.005 \cdot (10a)^{-1}$ 、 $0.005 \cdot (10a)^{-1}$,但四季的线性趋势均没有通过信度 0.05 的显著性检验。春季 PDSI 指数达到干旱等级有 7a,均为轻微干旱等级;PDSI 指数最小出现在 2002 年为-1.43。夏季 PDSI 指数达到干旱等级有 3 年,分别是 2003 年、2004 年和 2005 年,均为轻微干旱等级,最小值为-1.31(2004 年)。秋季 PDSI 指数达到干旱等级共有 8a,均为轻微干旱等级,最小值-1.82(2004 年)。冬季 PDSI 指数达到干旱等级共有 7a,2004 年最小值为-1.82。

秋季 PDSI 指数达到干旱等级的频次为 8 次,是四季中发生干旱频率最高的季节,其次是春季和冬季,均为 7 次,而夏季则是频次最少的季节,仅有 3 次。四季中所有达到干旱等级的均为轻微干旱等级。

2.1.3 月变化特征

分析近 40a 干旱指数 PDSI 月变化可知,PDSI 指数呈现略下降趋势,降速为 $0.004 \cdot (10a)^{-1}$,线性趋势没有通过信度 0.05 的显著性检验,没有线性一致的干化趋势,而呈现多波动现象。从指数曲线变化分析发现广东地区出现两个 PDSI 指数长时间持续负值的区间,分别是:从 2003 年 2 月到 2006 年 4 月,持续 33 个月 PDSI 指数均为负值,其中有 23 个月份 PDSI 指数达到轻微干旱等级($-2 < \text{PDSI} \leq -1$),占比 70%;有连续 3 个月达到中等干旱等级($-3 < \text{PDSI} \leq -2$),分别是:2004 年 11 月、2004 年 12 月和 2005 年 1 月,其中最低值-2.2 出现在 2004 年 12 月。另一个是从 2006 年 12 月到 2009 年 12 月共 37 个月 PDSI 指数持续负值,其中有 12 个月 PDSI 指数达到轻微干旱等级占比 27%,最小值为-1.75。2004 年 12 月 PDSI 指数是研究时段内最低值。

结合广东省气候中心提供的气象灾害损失库数据,2003—2009 年均出现不同程度的气象干旱灾害过程,且秋冬春连旱事件常有发生。其中 2004 年 9 月 21 日至 2005 年 4 月 30 日,全省降水一致偏少,沿海大部和西南部降水较常年同期偏少五成以上,

珠江口和西南部部分地区偏少达七八成(4 大江河出现历史最低水位),其中粤西的徐闻偏少七成。粤西徐闻县从 2004 年 9 月 24 日开始,连续 248d 没下过“透雨”(日降水量 $\geq 20\text{mm}$),打破 1902 年以来的历史记录,出现百年一遇的特大干旱。指数的变化与实况基本相符。

2.2 广东地区干旱空间分布及变化特征

2.2.1 频率空间分布

从近 40a 广东地区干旱发生频率空间分布情况看,各地干旱发生频率介于 4.8%~26.1%之间,平均频率是 15.5%。其中粤北地区大部分市县、珠三角南部地区以及粤东局部地区为干旱频率低值区,干旱发生频率普遍低于 10%。而处于粤西地区的阳江、徐闻、高州、廉州,以及粤东的海丰、信宜等地方干旱频率均大于 20%,为干旱发生的高频区。全省大部分地区的干旱频率在 10%~20%之间,并呈现多片区分布现象。

近 40a 广东地区春季干旱发生频率介于 42.9%~16.7%之间,平均频率为 27.7%;粤西大部分城市、粤东部分城市以及珠三角局部城市发生频率均高于平均值,为干旱高发区,其中频率最高是粤西的阳江为 42.9%,其次是粤东的海丰为 40.5%。夏季是华南地区雨季,干旱不易发生,发生频率介于 7.1%~35.7%,频率差距较大,频率最高在粤西的化州为 35.7%。秋季干旱出现频率介于 14.3%~42.9%之间,平均频率为 14.3%,频率最高发生在粤西的信宜为 42.9%。冬季干旱出现频率介于 11%~42.9%之间,最高频率在粤西的信宜为 42.9%。由此可见,四季中广东发生干旱频率最高的区域位于粤西。

2.2.2 长期变化趋势空间分布

由于 PDSI 指数值越小表示该地区越干,则当指数的线性变化趋势呈下降趋势时表示有干化的趋势。从近 40a 广东地区干旱指数年变化趋势变化空间分布(图略)可见,广东整体呈现东西两边干化中部湿化的长期变化趋势分布格局,明显看出粤北及珠三角大部分地区呈现 PDSI 上升趋势,粤东和粤西大部分地区 PDSI 呈略下降的趋势。干化最明显的地区是粤西阳春地区线性倾向为 $-0.41 \cdot (10a)^{-1}$,其次是粤东的龙门地区线性倾向为 $-0.34 \cdot (10a)^{-1}$ 、粤东河源地区线性倾向为 $-0.31 \cdot (10a)^{-1}$,可见近 40a 粤西和粤东地区的干化趋势较为明显。

从季节趋势分布情况看(图 1),春季广东地区 PDSI 指数基本呈现下降趋势,其中粤西的阳春和阳

江干化趋势最为明显,线性倾向分别为 $-0.57 \cdot (10a)^{-1}$ 和 $-0.44 \cdot (10a)^{-1}$ 。在夏季粤北及珠三角部分地区呈上升趋势,粤西和粤东地区则呈下降趋势,下降最明显是粤西的阳春,趋势为 $0.40 \cdot (10a)^{-1}$ 。秋冬两季分

布格局较为一致,粤东、粤西及粤北部分地区均呈下降趋势,秋季下降最为明显的是阳春,而冬季下降最明显是粤东的龙门。由此可见,粤西的阳春在春、夏、秋三季 PDSI 指数下降趋势最明显。

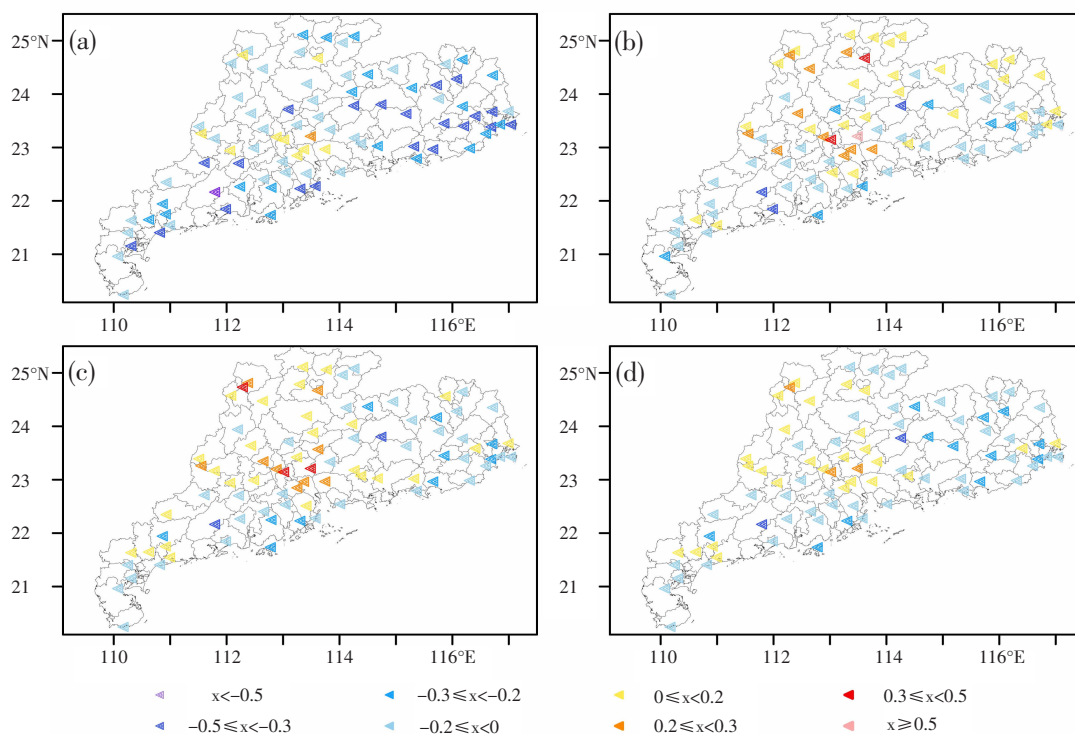


图 1 1979—2020 年广东地区不同季节干旱变化趋势分布图
(a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季(趋势变化单位: $(10a)^{-1}$)

3 结论与讨论

文中利用广东省 86 个国家气象观测站 1979 年 1 月—2021 年 2 月近 40a 的月平均降水 and 气温数据以及同期的土壤有效含水量数据,计算了研究时段内的干旱指数 PDSI,并用英国 East Anglia 大学气候研究中心 (CRU) 构建的全球 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 月尺度 1979—2020 年自校正 PDSI 数据进行验证,分析了广东地区近 40a 的干旱时空分布特征。主要分析结论如下:

(1)近 40a 广东地区 PDSI 呈轻微干化的不显著趋势,降速为 $0.005 \cdot (10a)^{-1}$ 。表明处于热带和亚热带季风气候区的广东地区干旱化趋势并不明显。2004 年是广东地区研究时段内最干旱的一年,PDSI 值为 -1.47 。但值得注意的是,虽然 2004 年是研究时段内最干旱的一年,但其 PDSI 指数只达到轻微干旱等级,而气象干旱灾害等级中则为严重干旱等级,两个指数差异的原因可能与 PDSI 指数综合考量了降

水量、气温及土壤有效含水量的影响有关,两者考量的影响因子不同,导致干旱等级略有偏差。

(2)一年四季均呈不同程度的干化趋势,但都不显著。春季 PDSI 指数下降趋势最明显,降速为 $0.2 \cdot (10a)^{-1}$,其余三个季节呈略微下降趋势。秋季是四季中发生干旱频率最高的季节,而夏季是发生干旱频率最低的季节;2003—2009 年春秋冬连旱常有发生。

(3)月尺度 PDSI 指数呈不显著的下降趋势,降速为 $0.004 \cdot (10a)^{-1}$,呈现多波动现象。其中,2004 年 11 月、2004 年 12 月和 2005 年 1 月连续 3 个月 PDSI 指数达到中等干旱等级 ($-3 < \text{PDSI} \leq -2$),2004 年 12 月达到最低值。

(4)近 40a 广东整体呈现东西干化中部湿化的长期变化趋势分布格局,粤西和粤东地区的干化趋势较为明显,最明显是粤西的阳春降速为 $0.41 \cdot (10a)^{-1}$;全省干旱发生频率介于 4.8%~26.1%之间,粤西为发生干旱高频地区。粤西的阳春在春、夏、秋三季 PDSI

指数下降趋势最明显,一年四季中发生干旱频率最高的区域均位于粤西地区。

参考文献:

- [1] Dai A. Increasing Drought under Global Warming in Observations and Models [J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(1):52.
- [2] 栗健,岳耀杰,潘红梅,等.中国 1961—2010 年气象干旱的时空规律——基于 SPEI 和 Intensity analysis 方法的研究[J].*灾害学*, 2014, 29(4):176–182.
- [3] 马鹏里,韩兰英,张旭东,等.气候变暖背景下中国干旱变化的区域特征[J].*中国沙漠*, 2019, 39(6):209–215.
- [4] Shi B, Zhu X, Hu Y, et al. Drought Characteristics of Henan Province in 1961—2013 Based on Standardized Recipitation Evapotranspiration Index [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(3): 311–325.
- [5] 李忆平,李耀辉.气象干旱指数在中国的适应性研究进展[J].*干旱气象*, 2017, 35(5):709–723.
- [6] Palmer W C. *Meteorological Drought* [M]. Washington DC: US Department of Commerce, Weather Bureau, 1965.
- [7] 陶然,张珂.基于 PDSI 的中国近 30 年气象干旱特征及时空变化分析[J/OL].*水资源保护*, 2022, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.TV.20200713.1459.002.html>.
- [8] 赖力,栗晓玲,冯凯.甘肃省农业干旱对多尺度气象干旱的响应[J].*节水灌溉*, 2020(2):102–108.
- [9] 牛帅科,赵艳卓,魏建国,等.葡萄转色初期干旱胁迫促进果实着色的研究[J].*节水灌溉*, 2020, 5(4):73–76, 82.
- [10] 刘嘉劲,祝剑亦,李媛,等.基于 DI 指数的连州市气象干旱变化特征[J].*广东气象*, 2021, 43(3):6–9.
- [11] 黎琮炜,覃卫坚,高安宁.1961—2013 年广西洪涝灾害时空分布特征及成因[J].*气象研究与应用*, 2015, 36(1):80–85.
- [12] 张允锋,赵学娟,赵迁远,等.近 2000a 中国重大历史事件与气候变化的关系 [J]. *气象研究与应用*, 2008, 29(1):20–22, 40.
- [13] 黄雪松,赵江洁,李艳兰,等.20 世纪 90 年代以来广西重大水旱灾害回顾 [J]. *气象研究与应用*, 2007, 28(4):17–19.
- [14] 何洁琳,谢敏,黄卓,等.广西气候变化事实[J].*气象研究与应用*, 2016, 37(3):11–15.
- [15] 张凌云,覃峥嵘,李家文.近 58 年柳州市汛期降水特征分析[J].*气象研究与应用*, 2009, 30(3):8–11, 118.
- [16] 忽建永,高艳春.西南地区北热带代表站干季气象干旱分析, *贵州气象*, 2017, 41(3):41–45.
- [17] 李忆平,李耀辉.气象干旱指数在中国的适应性研究进展[J].*干旱气象*, 2017, 35(5):709–723.

Analysis of drought characteristics in Guangdong in recent 40 years based on PDSI index

Lu Jieying¹, Sun Liying¹, Wang Chunlin^{2,3*}, Zhai Zhihong³, Wu Jianda¹

(1.Zengcheng District Meteorological Bureau, Guangzhou 511300, China; 2.Guangzhou Climate and Agrometeorological Center, Guangzhou 511430, China; 3. Field Scientific Observation and Research Station for Climate, Environment and Air Quality Changes Around the Pearl River Estuary, Zhuhai Guangdong 519082, China)

Abstract: Based on the monthly average precipitation and temperature data of 86 national meteorological stations in Guangdong Province from January 1979 to February 2021, and the data of soil effective water content in the same period, the paper calculated the temporal and spatial variation characteristics of drought index PDSI in Guangdong by using mathematical statistics, and studied the drought variation trend in recent 40 years. The results show that the PDSI index in Guangdong shows a slight drying trend in recent 40 years, with a decline rate of $0.005 \cdot (10a)^{-1}$, and the PDSI in 2004 is -1.47 , which is the driest year. The downward trend of PDSI index is the most obvious in spring, and the drought frequency is the highest in autumn and the lowest in summer. The monthly trend of PDSI index shows multiple fluctuations, with the lowest value of -2.2 , which appears in December 2004. The frequency of drought in recent 40 years is between $4.8\% \sim 26.1\%$. Western Guangdong is a high-frequency area of drought. The distribution pattern of Guangdong shows the change trend of drying on both sides and wetting in the middle, and Yangchun in western Guangdong has the most obvious drying.

Key words: PDSI; drought frequency, Guangdong region