

贺音, 张聪娥, 张黎. 基于 SPEI 的陕西近 40 年干旱时空特性分析 [J]. 陕西气象, 2014 (5): 26-32.

文章编号: 1006-4354 (2014) 05-0026-07

基于 SPEI 的陕西近 40 年干旱时空特性分析

贺 音¹, 张聪娥¹, 张 黎²

(1. 陕西省气象信息中心, 西安 710014; 2. 陕西省气象台, 西安 710014)

摘 要: 根据 1971—2012 年陕西省 96 个气象观测站月降水、气温数据计算出标准化降水蒸散指数 SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index), 运用经验正交函数分解 EOF (empirical orthogonal function)、线性趋势分析及 Morlet 小波分析等方法, 分析了近 40 a 来陕西省干旱时空演变特征、干旱化趋势、变率及周期性特征, 结果表明: (1) 陕西地区具有整体干旱变化特征一致的特点, 总体呈现出干旱化趋势增强的特征, 其中西安地区增强最明显, 关中及陕北干旱变率最大; (2) 干旱呈现明显的区域分布特征, 以秦岭为界将陕西省分为秦岭以南和秦岭以北两大区域, 两区域干旱呈现南北相反分布特征, 突变分析表明这种相反分布特征在 1994 年之后加剧; (3) 从周期上看, 整个陕西地区干旱呈准 10 a 震荡, 且关中与陕北地区呈现干旱特征相反的震荡步调。

关键词: SPEI; 经验正交函数; 干旱特征; 陕西

中图分类号: X51

文献标识码: A

干旱是全球最严重的自然灾害之一^[1], 发生频率高、影响范围大、持续时间长^[2], 它的频繁发生和长期持续给社会经济特别是农业生产造成了重大影响^[3], 因此, 通过有效的方法监测、评估干旱对于减少干旱损失、保障人类生命财产安全显得尤为重要^[4]。国内外的干旱监测多通过量化的干旱指标来完成, 目前常用于气象、农业类干旱指标有: 标准化降水指数 (SPI)^[5-6]、帕默尔干旱指数 (PDSI)^[7]、Z 指数^[8]、作物水分指数 (CMI)^[9]、地表供水指数 (SMSI)^[10] 等。其中 PDSI 采用水平衡原理综合考虑水分蒸散、径流、土壤水分交换等因素, 但是该指标在计算蒸散量、径流量、土壤水分交换量的可能值与实际值时要遵循一系列的规则和假设, 且计算过程比较复杂^[11]; Z 指数是假设降水量服从 Pearson III 型分布, 分析效果与偏态系数密切相关, 偏态系数越大, Z 指数的分析结果越好, 越能反映出

旱涝的程度^[12]。SPI 指数计算简单, 具有多时间尺度的特点, 然而其只考虑了降水作为影响干旱化的唯一因素, 而忽略了气温变化对干旱的影响, 存在一定局限性。最近由 Vicente-Serrano 等^[13-14]提出的新的干旱指数—标准化降水蒸散指数 (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI), 结合了 PDSI 与 SPI 的优点, 既考虑了水分平衡, 又具有多尺度的特点, 且计算程序简单。

陕西省地处我国中部内陆腹地, 地域南北狭长, 北部跨黄土高原中部, 属大陆性季风气候, 全省地形多样、地势复杂、地貌类型多样, 南北高, 中间低, 自然条件较差, 北部沟壑纵横, 水土流失严重^[15]。陕西省素有“十年九旱”之称, 干旱灾害对农业生产、人民生活以及社会经济等方面造成严重影响, 近年来不少学者对于旱指标

收稿日期: 2014-02-26

作者简介: 贺音 (1981—), 女, 陕西西安人, 汉, 硕士, 工程师, 从事气象数据资源开发与应用工作。

基金项目: 陕西省气象局科技创新基金计划项目 (2014M—13)

在陕西省的适用性进行了深入研究, 如: 乔丽等^[16]以 1951—1999 年间发生的典型干旱个例为代表, 对降水百分率、标准化降水指数、相对湿度指数等 6 个干旱指标在陕西省的适用性进行了研究; 孙智辉等^[17]通过采用百分位法对相对湿度指数进行了本地化订正用于陕西省黄土高原干旱监测。然而对陕西省的干旱演变趋势特征的研究相对较少, 利用 SPEI 指数, 结合气候学统计方法研究近 40 a 来陕西省的干旱化时空特征及其成因, 为提出比较科学、合理、有效的防御农业干旱措施提供理论依据。

1 资料来源与方法

1.1 数据来源与处理方法

利用除黄陵、三原辅助站及泾河 (2005 建站)、杨凌 (2007 年建站) 以外陕西省 96 个气象观测站点 1971—2012 年月降水量、月平均气温资料计算 SPEI 指数。

利用经验正交函数分解法 (EOF) 对 SPEI 进行时空分离, 并借助 Mann-Kendall (M-K) 法确定时间系数的突变时刻, 同时计算了 SPEI 场的线性倾向率及变率, 最后利用 Morlet 小波对干旱的周期变化进行分析。

1.2 SPEI 指数计算方法

通过计算月降水与潜在蒸散量的差值并进行正态标准化处理得到水分距平 D , 即月降水量 P (mm) 与潜在蒸散量 P_{ET} (mm) 差值:

$$D = P - P_{ET}, \quad (1)$$

式中, P_{ET} 由 Thornthwaite 方法计算得到

$$P_{ET} = 16K (10T_i/I)^m, \quad (2)$$

其中, K 为纬度和月序数决定的订正系数, T_i 为月平均温度, I 为年热量指数, m 为常数。

对降水蒸散差值数据序列进行标准化, 水分距平 D 序列服从 Log-Logistic 分布, 其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2}, \quad (3)$$

其中, α 、 β 、 γ 分别为尺度参数、形状参数及原

始参数, 得到的 D 序列概率分布函数为

$$F(x) = \int_0^x f(t) dt = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1}, \quad (4)$$

经过标准化正态分布处理后得到 SPEI 指数

$$I_{SPEI} = W - (C_0 + C_1 + C_2 W^2) / (1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3), \quad (5)$$

$$W = (-2 \ln(P))^{1/2}, \quad (6)$$

式中, $P = 1 - F(x)$, 当 $P > 0.5$ 时, P 变为 $1 - P$, 式中常数 $C_0 = 2.515\ 517$, $C_1 = 0.802\ 853$, $C_2 = 0.010\ 328$, $d_1 = 1.432\ 788$, $d_2 = 0.189\ 26$, $d_3 = 0.010\ 308$ 。

2 干旱变化特征分析

2.1 SPEI 与降水量的关系

SPEI 具有多尺度的特点, 分别用 SPEI-1, SPEI-3, SPEI-6, SPEI-12 来表示 1、3、6、12 个月等不同时间尺度下的 SPEI 干旱指数, 不同时间尺度 SPEI 值与降水量分布关系见图 1。在不同尺度下, SPEI 值与降水量呈一定的正相关关系, 但在小尺度 (1 个月、3 个月、6 个月) 的情况下, 两者的相关性较小, 点相对分散; 而在尺度达到 12 个月时, SPEI-12 与降水量的相关性最好, 点相对聚拢集中。这表明时间尺度选取较短, 降水量随时间分布不均匀, 而当选取 12 个月的尺度时, 降水量随时间分布不均的影响最小, 这与李敏敏等^[18]研究得到 SPI 尺度与降水的关系结果一致, 因此选择 SPEI-12 作为干旱指数, 研究干旱的时空变化特征。

2.2 干旱的时空变化特征

为了分析陕西省干旱时空分布特征, 利用 EOF 分析法对陕西省 SPEI 场进行时空分解, 表 1 是分解得到的前 3 个模态的方差贡献及累积方差贡献, 从表 1 可以看出, 前 3 个模态的累积方差贡献率达到了 73.2%, 其空间分布基本上包含了陕西各区域的干旱空间分布特征。

第一特征向量方差解释率为 54%, 反映了场的主要模态特征, 第一特征向量场全区符号一致 (见 29 页图 2), 表明陕西地区整体干旱变化

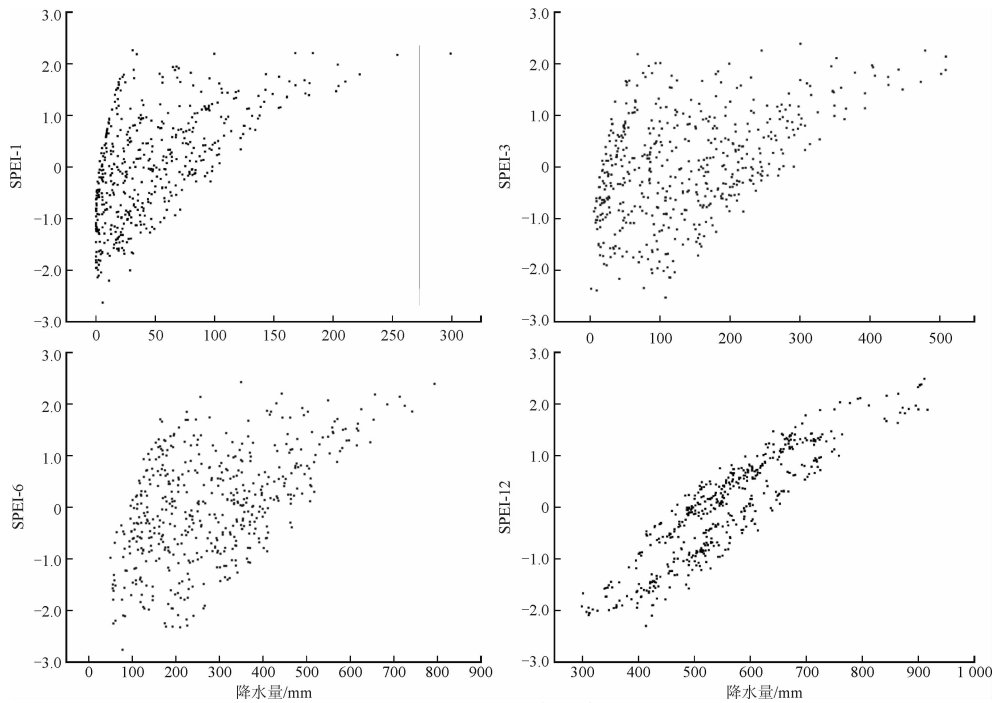


图1 不同时间尺度 SPEI 值与降水量分布关系

表 1 陕西干旱指数 EOF 分析前 3 个方差贡献及
累积方差贡献率

模态序号	1	2	3
方差贡献/%	54.1	13.4	5.7
累积方差贡献/%	54.1	67.5	73.2

特征是一致的，全区存在相同的干湿变化。从分布型来看，干旱程度呈北高南低趋势，EOF 第一时间系数表现为在波动中下降的特点，在 1994 年之前时间系数多为正值，表明此时段干旱整体程度偏弱；1994 年之后时间系数为负，表明此时间段干旱整体程度偏强，时间系数的线性趋势证明了这点。第二特征解释方差解释率为 13.3%，以秦岭为界分为正值和负值区域，如图 3 所示，说明以秦岭为界将陕西省划分为秦岭以南和秦岭以北两大区域，干旱特征呈现为南北相反的分布型式，负值主要位于陕北地区，以陕北榆林地区的长城沿线为中心，正值主要位于汉中的秦巴山区。EOF 第 2 时间系数表现为轻微的上升趋势，突变分析表明这种相反分布特征在 1994 年之后加剧。这是由于受小尺度局地强降水的影响，加上秦岭的地貌特征，秦岭作为南北气候北界线位于陕西中部，南北之间气候差异

大，降水分布不均。陕南河流密布，纵横交错，汉江横贯其中，地表水资源丰富，该区植被覆盖率高，常年雨水充沛；而陕西黄土高原地区属温带大陆性季风气候，雨水少，风沙大，水土流失严重，使得陕西地区以秦岭为界呈现相反的干旱特征。在第三模态下，时间系数呈现明显的年代际震荡特征，存在约 10 a 左右的准周期性震荡，形成以渭北塬区为正值中心，秦巴山区及陕北北部为负值中心的相反分布特征（如图 4），在 20 世纪 70 年代末、80 年代中期、90 年代末及 21 世纪末均表现为负值，其余时间则正好相反。

2.3 干旱趋势及变率特征分析

进一步分析干旱的演变趋势和变率特征，从 SPEI 线性趋势分布（图 5a）可以看出，全省绝大部分地区在近 40 a 呈现干旱化趋势，特别是在关中东部、陕南西部、黄土高原中部干旱化趋势明显，全省平均线性趋势达到 -0.01 a^{-1} ，趋势变化最大出现在关中东部西安站，达到 -0.03 a^{-1} ，这与城市化进程加剧，人口分布相对集中，产生的“热岛效应”有很大关系；而在陕南的东部商南及陕北的东部佳县出现小范围的干旱化程度减弱的趋势，约 0.01 a^{-1} ，这可能与极端天气及局地强降水有关。

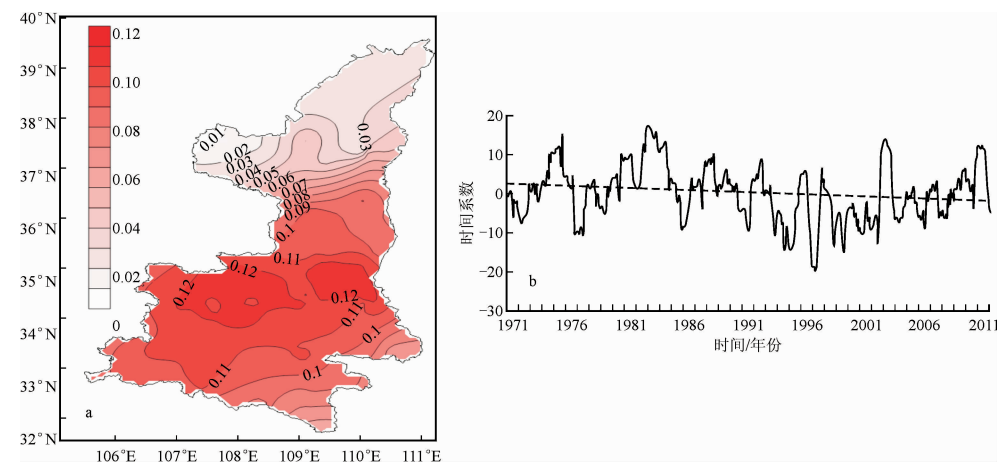


图2 EOF分解第一模态空间场(a)和第一模态对应的时间系数(b)(虚线为线性趋势)

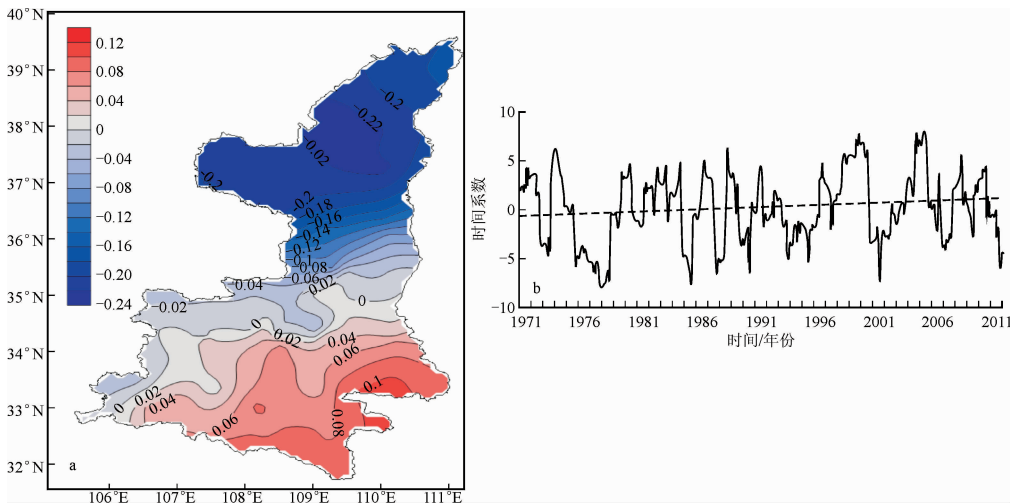


图3 EOF分解第二模态空间场(a)和第二模态对应的时间系数(b)(虚线为线性趋势)

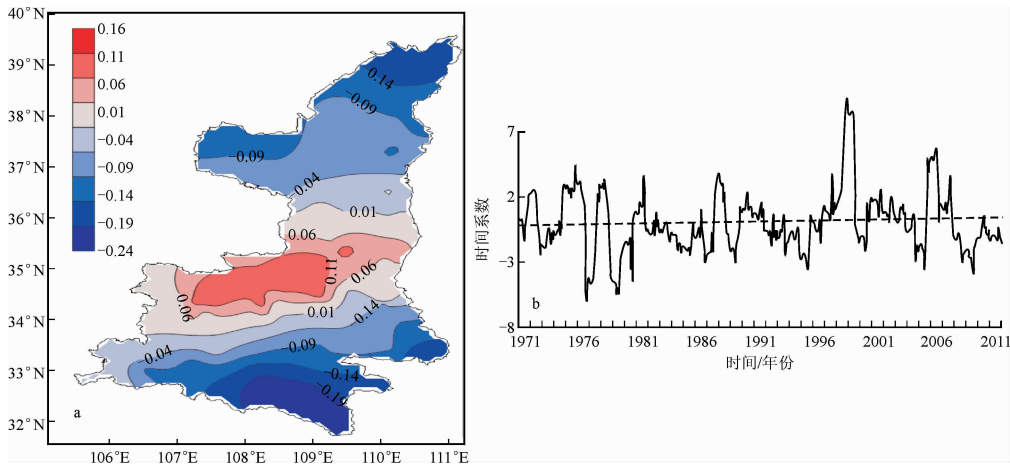


图4 EOF分解第三模态空间场(a)和第三模态对应的时间系数(b)(虚线为线性趋势)

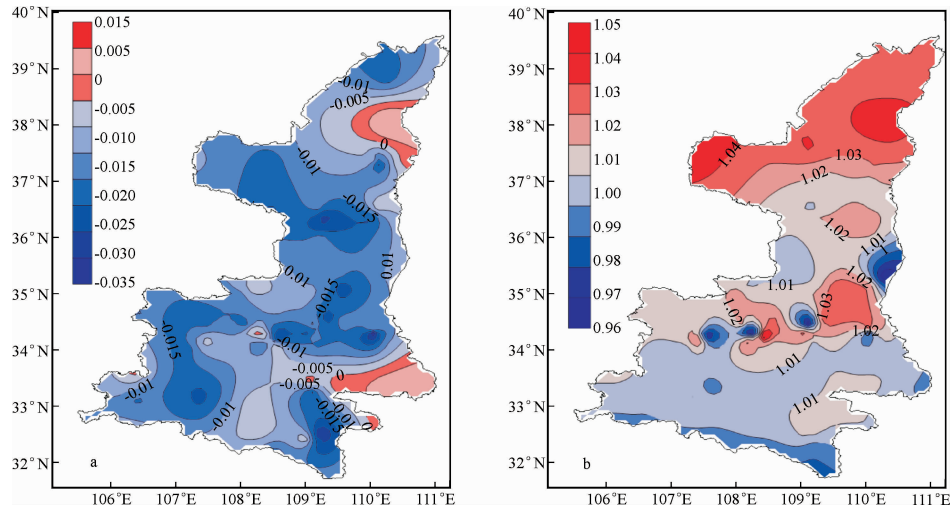


图 5 1971—2012 年陕西地区 SPEI 线性趋势分布 (a) 和 SPEI 方差分布 (b)

从 SPEI 的方差分布 (图 5b) 可以看出, 干旱变率最大区域集中在陕北北部、关中中部、渭北塬区, 这与夏季此区域容易发生局地强降水, 而冬季又长时间无降水有关。

2.4 干旱的周期变化分析

选用 Morlet 小波作为母小波, 对干旱周期变化特征进行分析, Morlet 小波不但具有非正交性而且还是由 Gaussian 调节的指数复值小波, 其表达式为

$$\Psi_0(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2}, \tag{7}$$

其中 t 为时间, 令 $\omega_0 = 6$, 小波尺度与傅立叶周期相等^[19]。

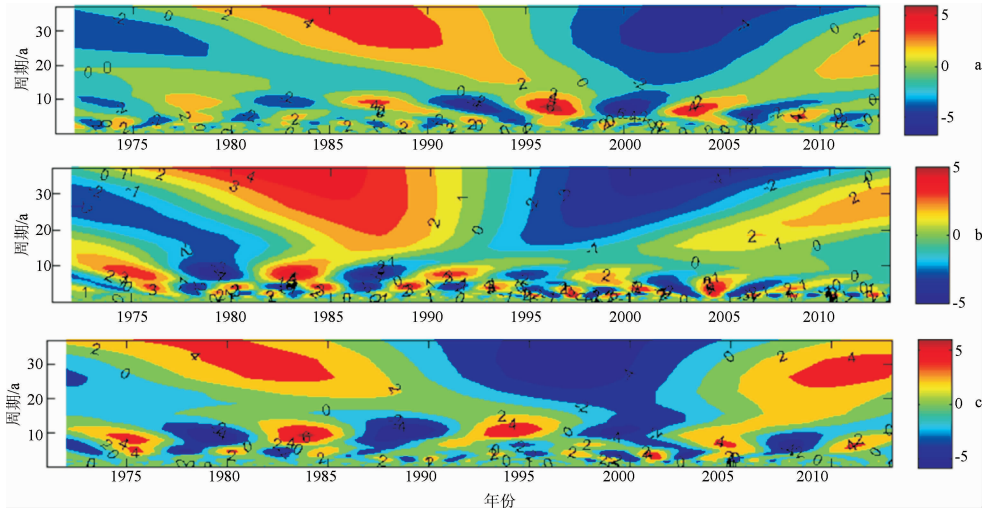
选取一系列尺度 S 进行小波变化, 一系列

尺度用 2 的幂来表达, 如式 (8)

$$S_j = S_0 2^{j\theta_j}, j = 0, 1, \dots, J \tag{8}$$

$$J = \delta j^{-1} \log_2 (N\delta t / S_0) \tag{9}$$

式中 S_0 为可分辨的最小尺度, J 为确定的最大尺度, 软件平台采用 Matlab。将陕西省按照区域划分, 由北向南分别选取陕北、关中、陕南地区旋转载荷向量绝对值大的测站作为代表站 (陕北选取榆林为代表站, 关中选择西安为代表站, 陕南选取紫阳为代表站), 做出小波的实部图形, 如图 6 所示 (红色代表干旱期, 蓝色代表湿润期)。可以看出, 三个地区同时都存在 10 a 的年际变化, 并且周期变化明显; 关中地区与陕南地区震荡步调一致, 在 20 世纪 70 年代中后期、



(a 陕北地区; b 关中地区; c 陕南地区)

图 6 1971—2012 年陕西地区各代表站 SPEI 指数的 Morlet 小波分析实部

80 年代中后期、90 年中后期及 21 世纪中后期均表现为干旱; 当关中地区出现干旱期时, 陕北地区呈现与关中地区相反的干旱特征, 处于相对湿润的时期, 与关中呈现出干旱特征步调相反的震荡类型。小波分析结果与 EOF 第 3 模态分析的干旱特征一致, 可见陕北地区与关中地区呈现准 10 a 周期的相反型震荡。

3 结论与讨论

(1) SPEI 指数的 EOF 第一模态反映出陕西地区干旱总体趋势一致, 呈现干旱化趋势, 第二模态则显示以秦岭为界将陕西省分为秦岭南部和秦岭北部两大区域, 这两大区域干旱特征呈现南北相反的分布特征, 突变分析表明这种相反分布特征在 1994 年之后加剧。

(2) 全省绝大多数地区呈现干旱化趋势, 受城市化进程及工业化的影响, 关中东部西安地区干旱化趋势最严重, 而在陕南东部商南及陕北东部佳县出现小范围的干旱化程度减弱的趋势, 这可能与极端天气及局地强降水有关。

(3) 由于夏季受局地强降水的影响, 冬季又容易发生长时间的无降水过程, 使得陕北北部及关中中部成为干旱变率最大的地区。

(4) 陕西绝大部分地区呈现 10 a 震荡周期, 无论 EOF 第三模态的结果, 还是小波分析的结果, 都可以看出陕北与关中地区呈现干旱特征相反的震荡步调。

(5) EOF 第三模态方差解释率仅占 5.7%, 结果显示关中与陕南地区呈现干旱特征相反的震荡步调, 但从小波分析的结果得出, 关中与陕南呈现一致的准 10 a 震荡步调, 小波分析与 EOF 的结果不一致, 这可能与引起降水的天气尺度不一致有关。

参考文献:

- [1] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions [C] // Wilhite D A. Drought: A Global Assessment. New York: Routledge, 2000: 1-18.
- [2] 李星敏, 杨文峰, 杨小丽, 等. 干旱指标在陕西省应用的敏感性分析 [J]. 中国沙漠, 2009, 29 (2): 342-347.
- [3] Kallis G. Droughts [J]. Annual Review of Environment and Resources, 2008, 33 (1): 85-118.
- [4] 徐启运, 张强, 张存杰, 等. 中国干旱预警系统研究 [J]. 中国沙漠, 2005, 25 (5): 785-789.
- [5] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to timescales [J]. Preprints, Eighth Conf on Applied Climatology, Anaheim, CA. Amer Meteor Soc, 1993, 17 (23): 179-184.
- [6] 王芝兰, 王劲松, 李耀辉, 等. 标准化降水指数与广义极值分布干旱指数在西北地区应用的对比分析 [J]. 高原气象, 2013, 32 (3): 839-846.
- [7] Alley W M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions [J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1984, 23 (7): 1100-1109.
- [8] 齐冬梅, 李跃清, 陈永仁, 等. 近 50 年四川地区旱涝时空变换特征研究 [J]. 高原气象, 2011, 30 (5): 1171-1178.
- [9] Wilhite D A, Glantz M H. Understanding the drought phenomenon: the role for definitions [J]. Water International, 1985, 10 (3): 111-120.
- [10] Shafer B A, Dezman L E. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas [C] // Proceedings of the Western Snow Conference. Fort Collins, Colorado, 1982: 164-175.
- [11] 俞胜宾. 基于修订的自适应 Palmer 指数的中国干旱变化规律的研究 [D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2007.
- [12] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究 [J]. 应用气象学报, 1997, 8 (1): 27-33.
- [13] Vicente Serrano S M, Begueria S, Lopez-Moreno J I. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index [J]. Journal of Climate, 2010, 23 (7): 1696-1718.
- [14] Vicente Serrano S M, López Moreno J I, Lorenzo Lacruz J, et al. The NAO impact on droughts in the Mediterranean region [J]. Advances in Global Change Research, 2011, 46: 23-40.

曹红丽, 苏静. 西安地区混合层厚度变化特征及对大气污染的影响. 陕西气象, 2014 (5): 32-35.

文章编号: 1006-4354 (2014) 05-0032-04

西安地区混合层厚度变化特征 及对大气污染的影响

曹红丽¹, 苏 静²

(1. 西安市气象局, 西安 710016; 2. 陕西省大气探测技术保障中心, 西安 710014)

摘 要: 利用 2007—2011 年西安泾河基准气候站逐日地面常规气象资料, 采用统计方法, 对比分析西安地区日最大混合层厚度的变化特征及对大气污染的影响, 结果表明: 西安年平均混合层厚度日变化在 158~1 343 m 之间, 呈现出夜间小, 正午前后大的变化趋势; 日最大混合层厚度总体呈逐年递增趋势, 2011 年有所减小, 冬半年低夏半年高; 年平均日最大混合层厚度与同期降水日呈反向变化, 日最大混合层厚度与空气污染物质量浓度有明显的负相关关系。

关键词: 混合层厚度; 变化特征; 空气污染物; 西安

中图分类号: X16

文献标识码: A

由于地表面加热作用, 促使大气增温使上、下层空气产生对流运动, 大气层结趋近于绝热递减率, 此层大气称为混合层, 其高度称为混合层厚度 (或高度)。最大混合层厚度反映了污染物在垂直方向上由于湍流和对流运动, 稀释和扩散能达到的高度。近年来, 混合层厚度被更多的应用于空气污染潜势预报和环境评价中^[1-2]。近些年我国学者对混合层厚度的计算方法进行了大量的研究^[3-6], 本文在参考前人研究结果^[7-11]的基础上, 计算西安市逐日最大混合层厚度, 分析日最大混合层厚度年际和季节变化等基本特征, 研

究日最大混合层厚度分别与降水日和污染物质量浓度的关系, 以期为大气环境规划和环境治理提供依据。

1 资料及计算方法

1.1 资料来源

计算混合层厚度和降水日数的资料取自西安泾河基准气候站 2007—2011 年逐日地面常规气象资料, 该站是西安地区唯一的基准气候站, 位于距离西安市中心 20 km 的泾河工业园区内, 周围环境属于城郊。2007—2011 年每日空气污染物质量浓度资料来自西安市环保局。

收稿日期: 2014-02-26

作者简介: 曹红丽 (1973—), 女, 汉族, 陕西长武人, 工程师, 从事高空气象观测。

基金项目: 陕西省气象局科技创新基金计划项目 (2014M-33)

[15] 乔丽, 杜继稳, 江志红, 等. 陕西省生态农业干旱区划研究 [J]. 干旱区地理, 2009, 32 (1): 113-118.

[16] 乔丽, 杜继稳, 薛春芳, 等. 干旱指标在陕西省适用性研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28 (2): 1-6.

[17] 孙智辉, 雷延鹏, 曹雪梅, 等. 气象干旱精细化监测指数在陕西黄土高原的研究与应用 [J].

高原气象, 2011, 30 (1): 142-149.

[18] 李敏敏, 延军平. 全球变化下秦岭南北旱涝时空变化格局 [J]. 资源科学, 2013, 35 (3): 638-643.

[19] Farge M. Wavelet transforms and their applications to turbulence [J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1992, 24 (1): 395-457.