

黄土高原旱作农区气候干旱时空特征分析

冯永忠^{1,3}, 刘志超², 刘 强^{1,3}, 成 敏^{1,3}, 杨改河^{1,3}

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省延安市气象局, 陕西 延安 716000;

3. 陕西省循环农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 研究区域气候干旱的变化规律, 是制订农业抗旱减灾的前提。利用陕西黄土高原旱作农区 42 个站点 38 年的气象观测资料及修正的 palmer 干旱指数、小波分析和 EOF(经验正交分解函数)等分析方法, 研究陕西黄土高原旱作农区年际、季节及空间上干旱变化趋势。结果表明: 干旱在年际与季节性变化的趋势, 都趋于干旱化变化, 在 2003 年后具有明显干旱化的特征; 年代和季节都具有干旱化周期性频率逐年变小的趋势; 在四个季节中, 春季干旱变化对全年的贡献最高, 其次是夏季、秋季。在空间上, 陕西黄土高原基本趋向干旱化方向, 但强度、位相等存在南北、东西差异, 高原中部和四周之间的差异。横山一佳县以北地区呈正态变化, 干旱趋于缓和, 南部地区干旱趋于加剧, 尤其绥德、吴堡一带。本研究结论对指导陕西黄土高原旱作农区抗旱减灾型农作制具有重要的指导意义和实践价值。

关键词: 黄土高原; 旱作农区; 气候干旱

中图分类号: S162.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)02-0218-06

干旱是对人类社会影响最严重的气候灾害之一^[1], 是全球气候变化过程中, 区域水资源配置与经济社会发展需求不均衡而造成的水分亏缺。而近年来, 全球气候暖干化趋势和社会经济的发展加剧了区域水资源配置的矛盾, 使得干旱问题更加突出, 传统关于干旱及早灾仅限于北方地区的观点, 受到很大的挑战^[2]。地处西北内陆的黄土高原地区是我国传统的旱区, 在全球气候暖干化背景下, 如何应对干旱灾害, 是农业可持续发展亟待解决的问题。

干旱是气象学和灾害科学领域研究的热点, 弄清区域灾害发生的特征及规律是制订应对灾害的前提。近年来, 对北方地区干旱及西北地区气候变化及干旱特征的研究较多, 采用手段多以各地区气象站点多年多点的监测数据为主^[3,4], 多从宏观角度分析气候干旱的特征。对小区域气候干旱及其旱灾的研究还是比较少, 本文以陕西黄土高原旱作农区为主要研究区域, 利用 Palmer 干旱指数^[5]对陕西黄土高原旱作农区土壤干旱的时间演变和空间演变特征进行分析, 以期构建抗旱减灾型农作制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕西省黄土高原旱作农区包括延安、榆林、铜

川、渭南、咸阳、宝鸡 6 个市 43 个县区, 面积 9.25 万 km², 占全省总面积 45%, 是我国发育最为典型的黄土高原地区。沟、壑、塬、梁和峁等地貌并存, 以雨养农业为主, 属于干旱半干旱地区; 对于干旱半干旱地区, 水资源供需关系是脆弱的^[6~8], 该地区容易发生严重干旱^[9,10]。

1.2 数据来源及分析方法

1.2.1 数据来源 陕西黄土高原旱作农区区域内 42 个分布比较均匀的气象站点, 1971~2008 年 38 a 逐月降水的实测资料。

1.2.2 分析方法

1) Palmer 干旱指数模型

造成土壤干旱的原因是多方面的, 诸如降水、气温、蒸发、土壤、作物群体结构等。Palmer 干旱指数综合了降水、气温和土壤湿度, 考虑到所用资料既易于获取同时又能清楚说明问题, 本文选用了适合我国的修帕默尔干旱指数模型:

$$X_i = Z_i / 57.136 + 1.805 X_{i-1} \quad (1)$$

式中: Z_i 为水分距平指数, X_i 、 X_{i-1} 分别为本月及前一月干旱指数, 计算 42 个站点 1971~2008 年 38 年逐月的干旱指数, 具体算法见文献^[11~14]。

2) 小波分析技术

采用小波分析技术分析干旱的气候演变特征及季节性变化特征^[14]。小波分析是一种时、频多分辨

收稿日期: 2010-08-24

基金项目: 农业公益性行业科研专项(200803028); 国家林业“948”项目(2006-4-11)

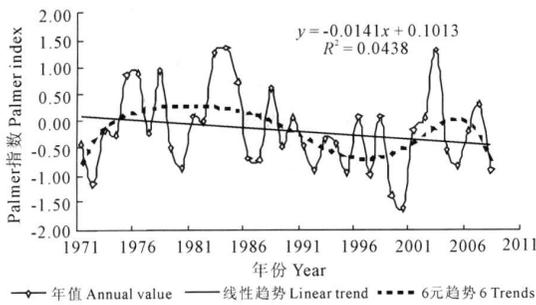
作者简介: 冯永忠(1972-), 男, 甘肃渭源人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事资源与环境生态研究。

率分析方法,是一个时间和频率的区域变换,因而能有效地从信号中提取信息,通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化。小波基(母波)的种类较多,本文采用 Morlet 小波^[15,16]为提取干旱指数变化区域特征的主要信息,采用了 EOF(经验正交分解函数)分解方法。利用 Mann-Kendall 检验气候突变现象,Mann-Kendall 法是一种非参数统计检验方法,使用此方法对气候序列进行突变检验。

2 结果分析

2.1 陕西黄土高原旱作农区干旱时间特征分析

2.1.1 年代际特征分析 从整个陕西黄土高原区



域的年代趋势上看(见图 1),线性趋势呈现下降趋势,为 $-0.14/10a$,说明干旱呈现逐年递增的发展趋势,从六元多项式曲线趋势上看,1971~1975 年为干旱阶段,1976~1986 年为湿润阶段,1986 至今为干旱阶段,并在 2003 年后干旱呈现递增趋势。利用 Mann-Kandll 突变点检测,整个区域的突变点为 1993 年。用小波分析方法对陕西黄土高原干旱的年际周期振荡特征进行分析,表明该区干旱指数存在 7~10 a、5~6 a 的年际周期变化(见图 1)。1985 年以前出现 7~10 a 的周期变化,1985 年以后出现 6 a 左右的周期变化,干旱发生的频率及周期有缩短趋势。

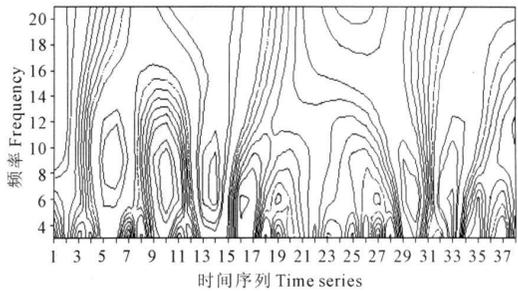


图 1 陕西黄土高原旱作农区干旱指数年代趋势分析与小波分析

Fig. 1 Era drought index trend and wavelet analysis of rain-fed farming area in the Loess Plateau in Shaanxi

2.1.2 干旱指数季节性特征分析 春季干旱指数趋势曲线显示呈现下降趋势(如图 2a),趋势率为 $-0.134/10a$,从六元趋势变化线上看,从 1971~1986 年干旱指数逐渐增加,由湿润期向干早期转化,1986 以后春季开始趋于干旱化,并在 2004 年后干旱再次增强。利用小波分析方法分析,可知:陕西黄土高原地区春季干旱变化周期频率在 1984 年以前以 7~10a 周期频率为主,1984 年后以 6 a 周期频率为主,这说明,春季干旱与全年干旱变化周期比较相似,随着气候变暖的影响春季干旱发生频率越来越多。

从夏季干旱指数变化趋势曲线中显示(如图 2b),夏季干旱变化趋势也呈下降趋势,趋势率为 $-0.137/10a$,再从六元趋势变化上看,与春季非常相似,但夏季干旱从 2003 年就出现了下降趋势,而且下降趋势比春季要大,说明夏季干旱随着气候变暖不断增强。再从小波分析上看,可知夏季干旱变化周期频率比较复杂,整体上看以两年周期为主。

从秋季干旱指数变化趋势曲线中显示(如图 2c),秋季干旱变化趋势也呈下降趋势,趋势率为 $-0.134/10a$,再从六元趋势变化上看,秋季从 1972

~1986、2002~2006 年属于湿润年份,从 1987~2001 年属于干旱年份。再从小波分析上看,可知秋季干旱变化周期频率从 1993 年以前以 8~10 a 周期为主,1993 年后以 6 a 周期为主,2007、2008 年出现准一年周期,说明,秋季干旱发生频率也在不断增强。

冬季干旱指数变化趋势基本上与秋季相似(如图 2d),只是在 21 世纪冬季没有出现湿润年份,趋势率为 $-0.153/10a$ 。在小波分析中,1984 年以前出现 8~10 a 的周期频率,1985~1997 年出现 2 a 周期频率,1998 年后出现了 5~6 a 的周期频率,说明冬季干旱变化比较复杂。

2.1.3 干旱指数年与季节相关性分析 通过对陕西黄土高原旱作农区干旱指数年变化与季节变化的相关分析得出(见表 1),春季、夏季、秋季都通过了 0.01 显著水平,冬季通过了 0.05 显著水平,说明,四个季节都对全年的干旱变化有一定的贡献,尤其是春季、夏季、秋季这三个季节对该区域的干旱变化贡献较大,在这三个季节中最为突出的是春季,这说明,春季是陕西黄土高原区域干旱主要季节,其次是夏季和秋季。

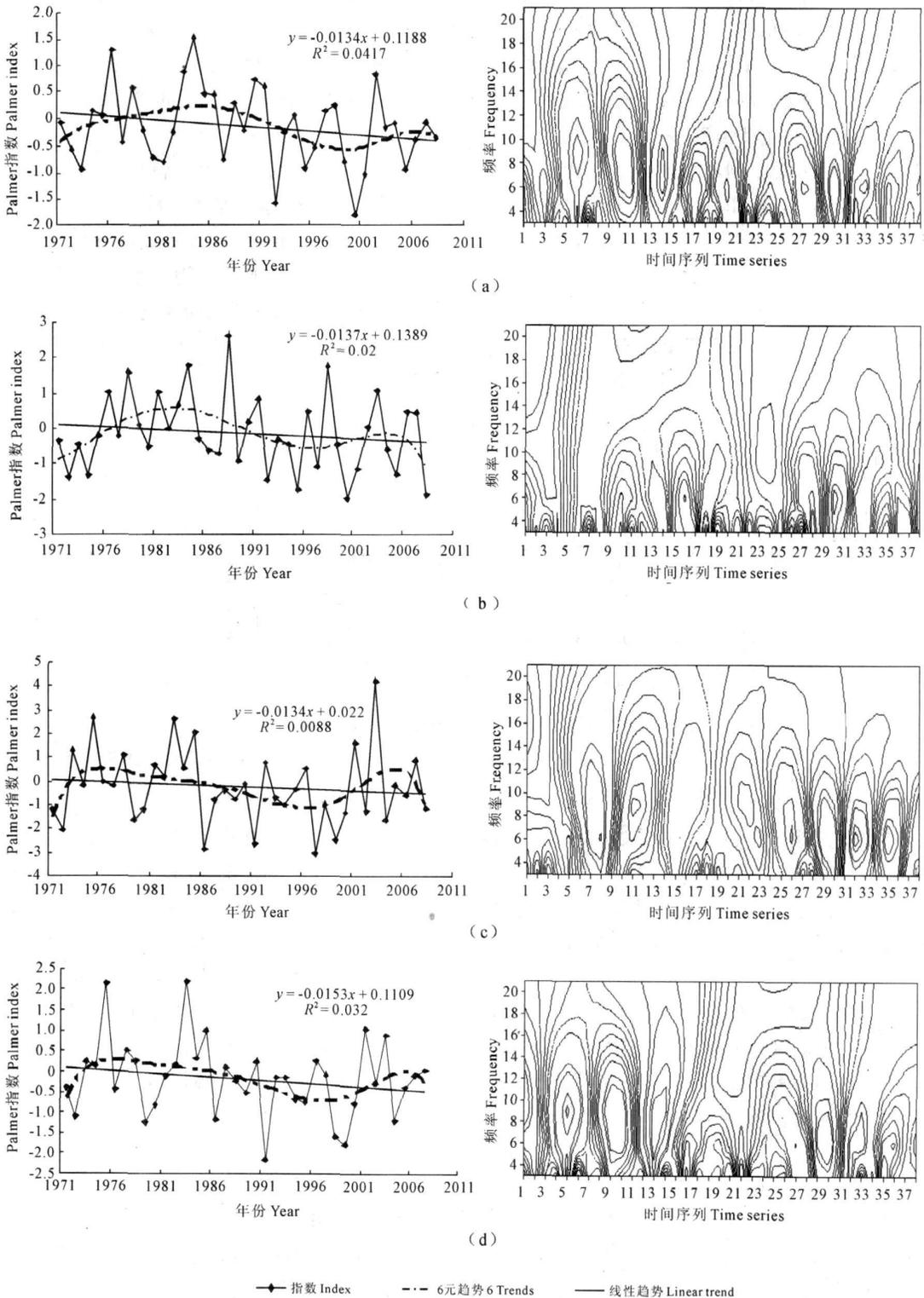


图 2 各季节干旱指数年代趋势分析与小波分析

(a: 春季, b: 夏季, c: 秋季, d: 冬季)

Fig. 2 The era trend of seasonal drought index analysis and wavelet analysis

(a: spring, b: summer, c: autumn, d: winter)

表 1 年度与季节间干旱相关性

Table 1 Correlation between annual and seasonal drought

项目 Item	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
全年 Annual	0.9502**	0.9106**	0.9369**	0.3997*

注: ** 达到 0.01 显著水平, * 达到 0.05 显著水平。

Note: ** means correlation is significant at 0.01 level, and * means that at 0.05 level.

2.2 陕西黄土高原旱作农区干旱的空间特征

2.2.1 干旱趋势变化的空间分布特征 对 Palmer 干旱指数趋势变化进行插值计算,做空间分析如图 3,零趋势线正好在定边—衡山—子洲—佳县一线,以北趋势变化大于零,以南趋势变化小于零,这说明,定边—衡山—子洲—佳县一线以北区域干旱变化趋势趋于缓和,逐步向湿润型发展;而其它 3 个地区干旱变化趋势受气候变化的影响仍在干旱化,尤其绥德、吴堡一带,趋势比较明显,干旱化比较严重。

2.2.2 陕西黄土高原旱作农区干旱空间特征 陕西黄土高原是华北季风区向西北干旱区过渡的地带,属于典型的干旱半干旱地区;再加上沟、壑、塬、梁和峁等地貌并存,区域性降水量的差异比较明显。

对陕西黄土高原区域逐月 Palmer 干旱指数序列标准化,再进行 EOF 分解,特征向量(PC)的方差贡献由表 2 给出,前 6 个特征向量(旋转前的特征向量)累积方差贡献率达 82.20%,基本概括了土壤干旱场主要信息。图 4 给出前 4 个特征向量场分布(累积方差贡献率达 76.15%)。

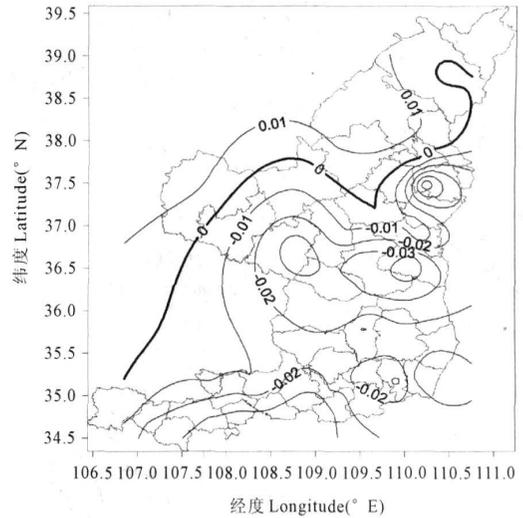


图 3 陕西黄土高原干旱指数变化趋势

Fig.3 Drought index trends of dry areas in the Loess Plateau in Shaanxi

表 2 EOF 方差贡献及累积贡献

Table 2 Loading vector variances and cumulative contribution from EOF

项目 Item	eof1	eof2	eof3	eof4	eof5	eof6
方差贡献 Vector variance(%)	45.58	20.49	5.09	4.98	3.16	2.89
累积方差贡献 Cumulative contribution(%)	45.58	66.07	71.17	76.15	79.32	82.20

图 4a 是第一特征向量空间分布情况,第一特征向量方差贡献 45.58%,在空间分布均为正值,表现为全区的一致,但大振幅区域(>0.20)在旬邑县—宜君县—澄城县等渭北旱塬,这一带振幅最大,表明是干旱变化最明显的地区。向陕西黄土高原北部地区振幅减小。反映了黄土高原土壤干旱是受大尺度气候的影响,与一支在西北地区东部下沉气流有关^[17,18]。

第二特征向量(图 4b)方差贡献 20.49%,以富县—宝塔区—宜川县为零线东西向横穿把陕西高原南北分开,南北反向。零线以北为负号,以南为正号。揭示出南北方向的空间差异,反映出富县—宝塔区—宜川县北部比渭北旱塬易出现干旱,这与区域降水由南向北递减有重要关系。

第三特征向量(图 4c)方差贡献 5.09%,在神木附近和浦城附近分别有负值中心,这说明受到黄土高原地形特征的影响区域降水存在着明显差异,致

使各区域干旱演变也具有差异性。

第四特征向量(图 4d)方差贡献 4.98%,零线米脂—志丹—富县—韩城斜穿高原,东西反向,说明受到华北季风的影响,东部地区比西部地区更容易干旱。

3 结论和讨论

3.1 结论

1) 陕西黄土高原干旱年代与季节性变化趋势,都趋于干旱化变化,都在 2003 年后具有明显干旱化的特征。在小波分析中,年代和季节都具有干旱化周期性频率逐年变小的趋势,并在 80 年代末 90 年代初出现 2 a 振荡频率。全年的干旱变化与各季节的干旱变化相关性都通过了 0.05 显著水平,尤其春季、夏季、秋季通过了 0.01 显著水平;在四个季节中,春季干旱变化对全年的贡献最高,其次是夏季、秋季。

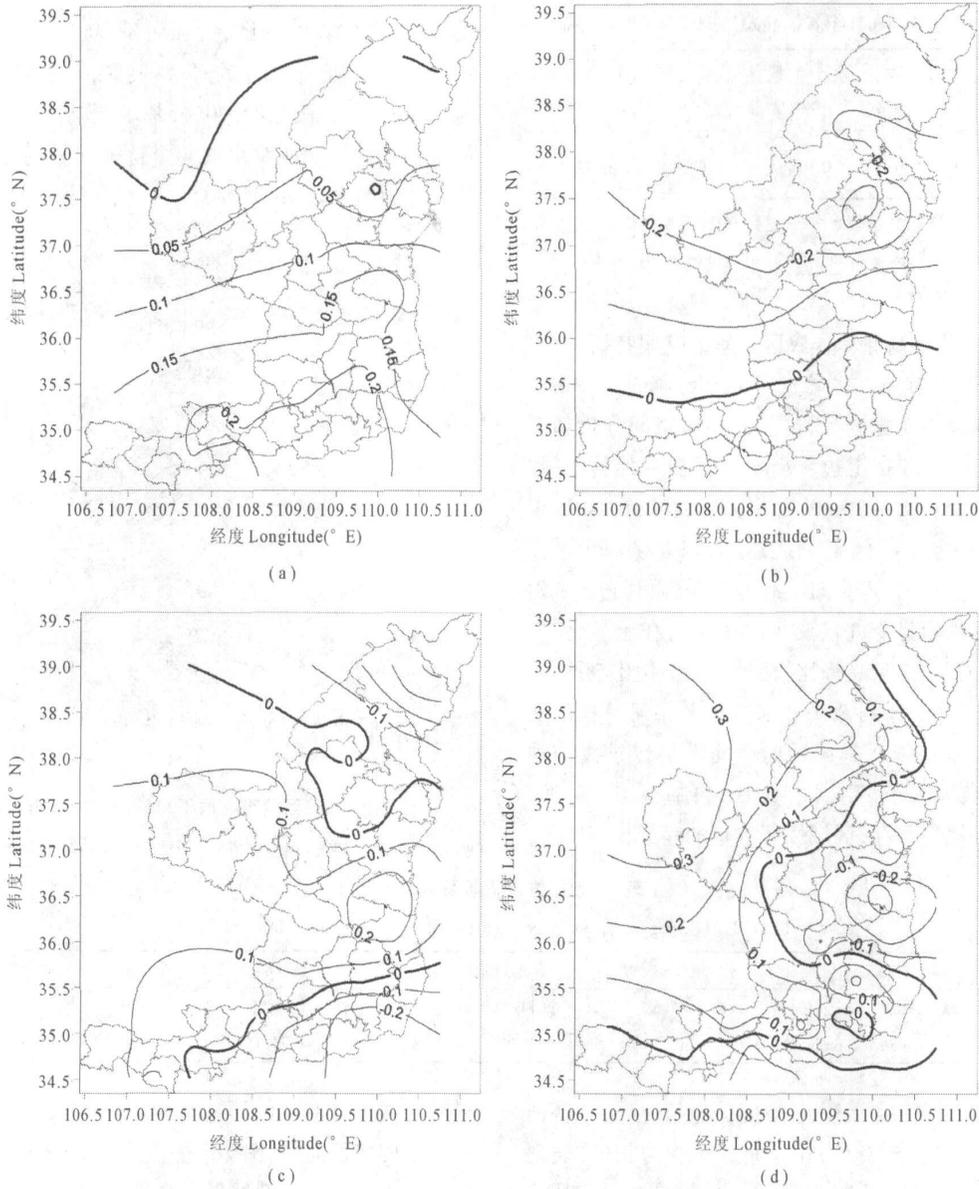


图 4 EOF 前 4 个向量场的空间分析

Fig.4 Spatial structures of the first 4(a~d) loading vectors

2) 陕西黄土高原在整体上干旱是一致地向严重发展,但受到华北季风、西北气流、区域地形等特征的影响,使得干旱的强度、位相等存在南北、东西差异,高原中部和四周之间的差异。干旱发展的趋势变化是不同的,强度是不一的,位相差别大等特点,衡山—佳县以北地区呈正态变化,干旱趋于缓和,南部地区干旱趋于加剧,尤其绥德、吴堡一带。

3.2 讨论

1) 本研究与王毅荣^[17]研究的黄土高原干旱特征基本一致,但对 EOF1 的大振幅区域有所不同,是不是与区域的范围有一定影响还待研究。

2) 从各季节干旱指数的贡献率上看,春季对全

年干旱的贡献率较大,春季干旱在陕西黄土高原旱作农区最为突出,也是制约该区域农业发展的主要因素,这与张建兴^[18]等研究的夏、秋季的干旱化是造成黄土高原年干旱化的主要原因有一定区别,这可能以区域内气象站点的分布有关。

参考文献:

[1] Woodhouse C A, Overpeck T. 2000 years of drought variability in the central United States. Bull[R]. Amer Meteor Soc, 1998; 2693—2714.
 [2] 王立祥, 王龙昌, 廖允成. 中国旱区农业[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2009; 3—28.
 [3] 邹旭恺, 张 强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J]. 应用气象学报, 2008, (6): 679—687.

- [4] 高蓉, 张燕霞, 石圆圆, 等. 西北干旱半干旱过渡区近50年气候变化特征分析及对粮食产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, (14): 67-76.
- [5] 马金珠, 高前兆. 干旱区地下水脆弱性特征及评价方法探讨[J]. 干旱区地理, 2003, 26(1): 44-49.
- [6] 徐国昌. 中国干旱半干旱区域气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 45-60.
- [7] 左其亭, 吴泽宁, 赵伟. 水资源系统中的不确定性及风险分析方法[J]. 干旱区地理, 2003, 26(2): 116-121.
- [8] 王毅荣. 黄土高原植被生长期早涝对全球气候变化响应[J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 161-166.
- [9] Wilhite D A, Glantz M H. Understanding the Drought Phenomenon: the Rule of Definition[J]. Water International, 1985, 10(3): 111-120.
- [10] 刘庚山, 郭安红, 安顺清, 等. 帕默尔干旱指标及其应用研究进展[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(4): 21-27.
- [11] 刘巍巍, 安顺清, 刘庚山, 等. 帕默尔旱度模式的进一步修正[J]. 应用气象学报, 2004, 15(2): 207-216.
- [12] 刘巍巍, 安顺清, 刘庚山, 等. 以气候适宜降水量为基础的水分距平的计算方法[J]. 气象, 2003, 29(4): 14-18.
- [13] 王毅荣, 张存杰, 张强, 等. 基于帕默尔干旱指数的中国干旱区域特征[J]. 地球科学进展, 2005, 20(特): 71-82.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 106-113.
- [15] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[R]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79: 61-78.
- [16] 王毅荣. 中国黄土高原地区干旱特征[J]. 干旱区地理, 2008, 31(1): 38-43.
- [17] 张存杰, 谢金南, 李栋梁. 东亚季风对西北地区干旱气候的影响[J]. 高原气象, 2002, 21(2): 193-198.
- [18] 张建兴, 马孝义, 赵文举, 等. 黄土高原地区干旱长期变化趋势及预测[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 1-6.

Temporal and spatial characteristics of dry climate in rain-fed farming area of the Loess Plateau

FENG Yong-zhong^{1,3}, LIU Zhi-chao², LIU Qiang^{1,3}, CHENG Min^{1,3}, YANG Gai-he^{1,3}

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Yan'an Bureau of Meteorology, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

3. Research Center for Recycling Agricultural Engineering Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Studying the evolution of regional dry climate is the premise of drought resistance and disaster alleviation. To study the drought evolution trend during interannual change, seasonal variation and spatial diversity, 38 years' meteorological data from 42 observation stations in the rain-fed farming area of the Loess Plateau was used by means of a modified palmer drought index, wavelet analysis, and EOF (empirical orthogonal function decomposition). The results showed that drought intensified during interannual change and seasonal variation which was significant after 2003. The frequency of drought period was diminished with interannual change and seasonal variation. During the four seasons, the highest effect on annual drought was found in spring which followed by summer and autumn. On the whole, the Loess Plateau tended to get increasingly drier, but there was intensity and phase differences between north and south, east and west, and the central plateau and the surrounding area. In the area north of Hengshan and Jiaxian counties, drought was alleviating and showed normal change, while in the south region drought tended to intensified, particularly in Suide and Wubu counties. This study has certain theoretical significance and practical values for guiding the cropping system of drought resistance and disaster alleviation on the Loess Plateau.

Keywords: Loess Plateau; rain-fed farming area; dry climate