

张耀宗, 张勃, 刘艳艳, 等. 1960-2012年宁夏强干旱时空格局及影响因素分析[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 120-127. [ZhangYaozong, ZhangBo, LiuYanyan, et al. Spatial and Temporal Pattern of Strong Drought and Its Influence Factors in Ningxia from 1960-2012[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(1): 120-127.]

1960-2012年宁夏强干旱时空格局及影响因素分析^{*}

张耀宗^{1,2}, 张勃¹, 刘艳艳², 张多勇², 周丹¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070; 2. 陇东学院庆阳市沙漠化防治研究中心, 甘肃庆阳 745000)

摘要: 利用宁夏19个气象站1960-2012年降水、气温月数据, 使用干旱指标SPEI, 定义了干旱强度指数, 对近50年宁夏及其4个气候区强干旱时空格局及影响因素进行了分析。得出以下结论: 1960-2012年宁夏及四个气候区SPEI-12气候倾向率均小于0, 干旱化趋势明显, 干旱气候区干旱趋势大于半干旱气候区大于半湿润气候区。通过干旱强度指标确认强的干旱事件与《中国气象灾害大典·宁夏卷》、《宁夏水资源公报》中的重大干旱事件能很好的对应, 强干旱事件在空间上由1980年代之前的区域规模发展到全省规模且强度不断增强。近50年气候暖干化是强干旱增多的主要原因。IIC区、IIB强干旱事件主要受升温作用影响, IB区受气温升高、降水减少共同影响, IA区主要受降水减少的影响。ENSO与宁夏强干旱有很好的对应关系, EL Nino事件的影响超过LA Nina事件的影响, IIC区、IIB受ENSO事件影响小, EL Nino和LA Nina事件的交替发生对强干旱事件影响大。

关键词: 宁夏; 干旱强度; 时空格局; SPEI; 影响因素

中图分类号: X43; P429 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)01-0120-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.01.023

干旱是一种全球普遍发生的气象灾害, 会给人类社会产生严重的影响, 致使作物减产, 经济受损^[1]。严重干旱往往造成生态环境恶化、饥荒、战乱、文明消失等灾难^[2-3]。在全球背景下, 近50年来全球极端干旱区域的面积增加了2倍以上, 干旱发生的频率显著增加^[4-6]。干旱灾害也是中国的主要灾害之一, 《第二次气候变化国家评估报告》指出过去60年中国气象干旱面积以66%/10年增加, 增加趋势明显^[7-8], 大量研究表明我国北方地区干旱化正在加剧^[9-10], 已知的干旱灾害已对中国产生了巨大的影响, 尤其对农业影响大, 平均每年受灾面积达50%以上, 严重干旱年份达75%以上, 据统计仅2000年因干旱粮食损失 600×10^8 kg, 经济损失210亿元^[1,11-12]。

张强等指出干旱灾害是影响制约西北地区社会经济发展和生态文明建设的重大自然灾害, 随着全球变暖西北地区极端干旱事件发生频率和强度均呈增加趋势, 影响不断加剧^[13]。干旱是宁夏发生次数最多, 影响面积最广, 危害最严重的气象灾害, 宁夏素有“三年两头旱, 五年一小旱, 十年一大旱”的说法, 干旱对农业生产、生态环境建设影响较大^[14]。因此研究宁夏特大干旱发生的规

律, 对指导抗旱救灾, 建立干旱预警体系有重要的意义。

王素艳等研究了Pa、K、SPI、PDSI、CI指数在宁夏的应用, 认为CI和K指数效果较好, 并对其进行了本地化订正^[15-16]。李红英等用CI指数研究指出宁夏近30年来干旱日数和强度呈增加趋势, 干旱致灾因子危险性从南到北呈增加趋势^[17-18], 梁旭等对宁夏干旱成因进行了一定探讨, 由于其物理因子多, 复杂, 干旱发生的机制、原因尚不十分不清楚^[19]。SPEI是2010年新提出的干旱指标^[20], 经过试验在中国各地有很好的适用性^[21-25]。本文应用SPEI指数对宁夏强干旱事件的时空格局及其影响因素进行探讨。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

宁夏回族自治区位于中国西北地区东部(图1), 面积 6.64×10^4 km², 地势南高北低, 平均海拔在1 000 m以上, 为典型的大陆性气候, 具有春

^{*} 收稿日期: 2015-05-21 修回日期: 2015-07-20

基金项目: 高校博士学科点专项科研项目(20136203110002); 国家自然科学基金资助项目(31460090); 生态经济学省级重点学科(5002-021); 国家社科基金一般项目(13BZS084); 陇东学院青年科技创新项目(XYSK1501)

作者简介: 张耀宗(1982-), 男, 甘肃华池县人, 博士研究生, 讲师, 主要从事气候变化与地表过程研究。

E-mail: yaozongzhang@163.com

通讯作者: 张勃(1963-), 男, 甘肃华池县人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域环境与资源开发研究。

E-mail: zhangbo@nwnu.edu.cn

多风沙、夏少酷暑、秋凉较早、冬寒较长、日照充足、蒸发强烈等特点, 雨雪稀少, 年平均降水量 300 mm 左右。根据文献把宁夏分为 4 个气候区进行讨论^[26], 分别为中温带六盘高冷(固原南部)半湿润气候区(IA)、中温带南华(固原北部)同心、盐池半干旱气候区(IB)、中温带银南丘陵半干旱气候区(II B)、中温带贺兰山东侧黄灌(平原)干旱气候区(II C), 气候区界线见图 1。

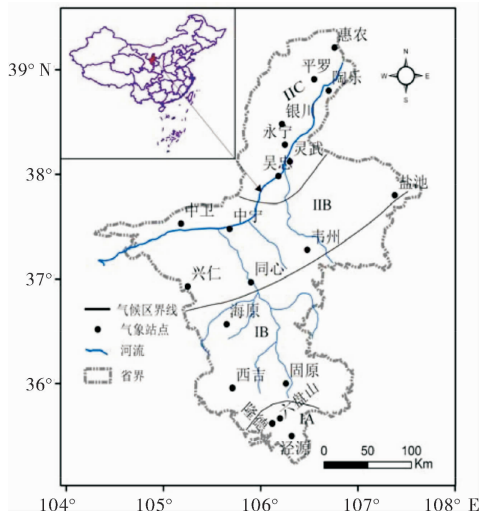


图 1 研究区概况及气象站点分布图

1.2 数据

宁夏有 10 个国家基准气象站, 分布稀疏, 不能满足研究的需要, 本文利用宁夏一般站气象数据把气象站的数量增加到 19 个, 气象站点的分布如图 1 所示。10 个国家基准气象站的数据来自于中国气象科学数据共享网 (<http://www.esiience.gov.cn/metdata/page/index.html>), 还用到了 9 个农业气象站对数据进行了补充。宁夏干旱事件记录数据来源于《中国气象灾害大典·宁夏卷》^[14]、《宁夏水资源公报》^[29], SST 数据来自于 NOAA 网站。

对每一气象站点的数据进行检查和订正。首先, 检查数据是否存在缺测值, 对缺测值使用均值法和线性回归的方法进行插补。其次, 检查数据是否存在异常值, 如对降水的极大值、气温的极大值和极小值进行甄别, 检查其是否合理。最后对数据的一致性进行检验, 并进行均一化的处理^[27]。由于台站搬迁、仪器更换等原因, 一些数据序列存在断点。本文使用最大惩罚 F 检验和 T 检验的方法对数据的进行了一致性检验, 并对照《宁夏气象台站简史》气象台站位置变迁的记录, 对断点进行识别, 对确定变化的站点进行均一化处理^[28]。

1.3 研究方法

1.3.1 标准化降水蒸散发指数(SPEI)

SPEI 在 SPI 的基础上同时考虑了降水和蒸散发, 计算过程如下^[20,25] 如示。

第一步计算潜在蒸散量(PET)。Vicente-Serrano 推荐的是 Thornthwaite 方法:

$$PET = 16.0 \times \left(\frac{10T_i}{H} \right)^A \quad (1)$$

式中: PET 为潜在蒸散量; T 为月平均温度; H 为年热量指数。

第二步计算逐月降水量与蒸散量的差值:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

式中: D_i 为降水量与蒸散量的差值; P_i 为月降水量; PET_i 为月蒸散量。

第三步采用 3 个参数的 log-logistic 概率分布对 D_i 数据序列进行正态化, 计算每个数值对应的 SPEI 指数:

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

参数 α 、 β 、 γ 的计算如下:

$$\alpha = \frac{(\omega_0 - 2\omega_1)\beta}{\Gamma(1 + 1/\beta)\Gamma(1 - 1/\beta)}; \quad (4)$$

$$\beta = \frac{2w_i - w_0}{6w_1 - w_06w_2}; \quad (5)$$

$$\gamma = \omega_0 - \alpha\Gamma[1 + 1/\beta]\Gamma(1 - 1/\beta). \quad (6)$$

式中: Γ 为阶乘函数, ω_0 、 ω_1 、 ω_2 为数据序列 D_i 的概率加权矩。

$$\omega_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - F_i)^s D_i; \quad (7)$$

$$F_i = \frac{i - 0.35}{N}. \quad (8)$$

式中: N 为参与计算的月份个数。

最后对累计概率密度进行标准化:

$$P = 1 - F(x). \quad (9)$$

当累计概率 $P \leq 0.5$ 时:

$$\omega = \sqrt{-2\ln(P)}, \quad (10)$$

$$SPEI = \omega - \frac{c_0 + c_1\omega + c_2\omega^2}{1 + d_1\omega + d_2\omega^2 + d_3\omega^3}. \quad (11)$$

式中: 常数 c_0 、 c_1 、 c_2 、 d_1 、 d_2 、 d_3 同 SPI 计算过程, $c_0 = 2.516$, $c_1 = 0.802$, $c_2 = 0.010$, $d_1 = 1.433$, $d_2 = 0.189$, $d_3 = 0.001$ ^[20,25]。

干旱分类标准见表 1。

表 1 干旱等级划分表

序号	干旱等级	SPEI 值
1	无干旱	$SPEI \geq 0$
2	一般干旱	$-1 < SPEI < 0$
3	严重干旱	$-1.5 < SPEI = -1$
4	极端干旱	$SPEI \leq -1.5$

1.3.2 干旱强度的定义

SPEI 值 < 0 表示发生了干旱, 在本文中对干旱强度做了如下定义:

$$Q_i = \frac{1}{12j} \sum_{0 < i \leq 12} |SPEI_{ij}|, \quad SPEI_{ij} < 0. \quad (12)$$

式中: Q_i 代表干旱强度, i 代表年内 SPEI 值小于零的月数, j 代表气象站点数个数。在本文中 $Q_i > 0.4$ 表示当年为强干旱年份, 发生了强干旱事件。

1.3.3 其他方法

本文在研究中 SPEI-12 的线形变化趋势使用了气候倾向率法, 干旱强度的空间显示中使用 Kring 插值分析。

2 结果与分析

2.1 干旱趋势变化

图2分别为宁夏及其4个气候区 SPEI 时间序列图,由图2可以看出,宁夏及4个气候区变化趋势基本同步,干旱化趋势明显,1980年代以来 SPEI-12 值小于0 的次数明显增多,说明发生干旱的次数增多,近53年 SPEI 值连续小于0 时间段有10~12个,从1960-2012年每个小于0 时间段

持续时间明显变长,尤其是1995年以来,表明宁夏干旱化趋势不断增强。用线性趋势法分析了宁夏及4个气候区 SPEI-12 的气候倾向率,宁夏及4个气候区 SPEI-12 的气候倾向率分别为 $-0.27 \text{ spei}/10 \text{ 年}$, $-0.29 \text{ spei}/10 \text{ 年}$ (II C), $-0.26 \text{ spei}/10 \text{ 年}$ (II B), $-0.24 \text{ spei}/10 \text{ 年}$ (I B), $-0.23 \text{ spei}/10 \text{ 年}$ (I A),均达到0.01的显著性水平,分析可知近53年来 SPEI-12 的气候倾向率均小于0,表明宁夏干旱化趋势明显,王素艳等和李

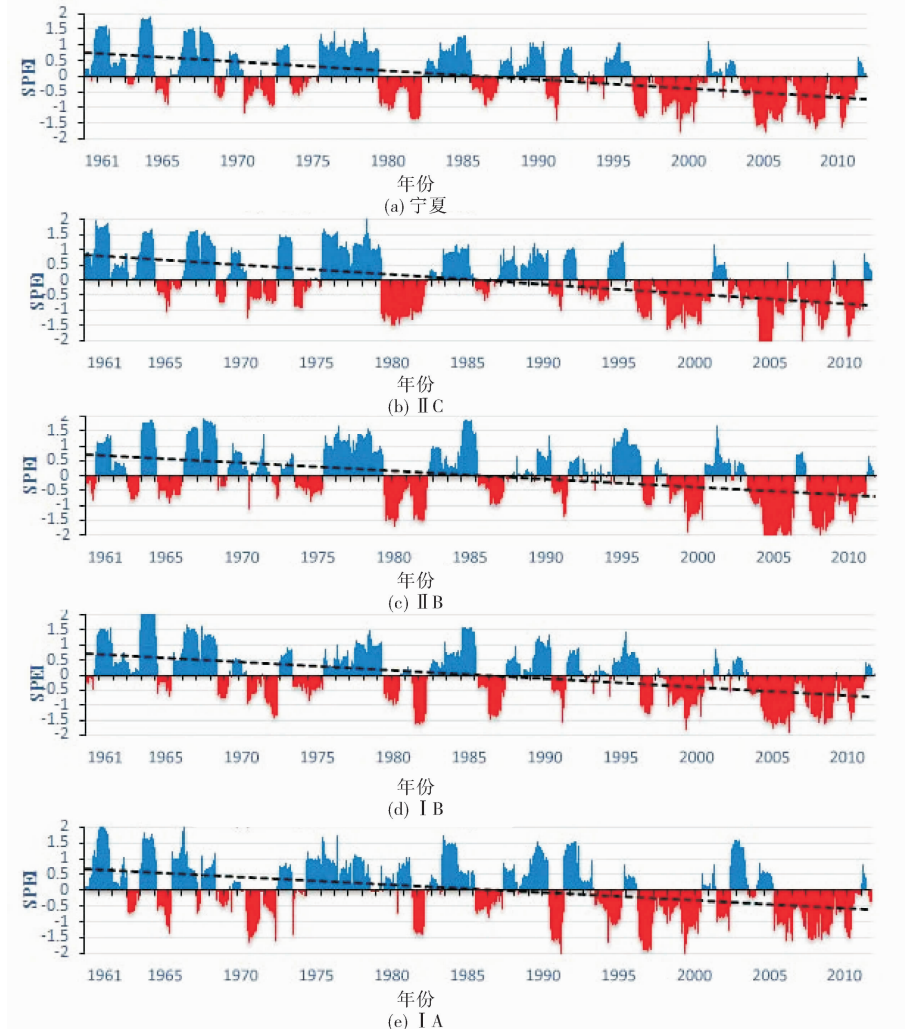


图2 1960-2012年宁夏及4个气候区 SPEI 变化图

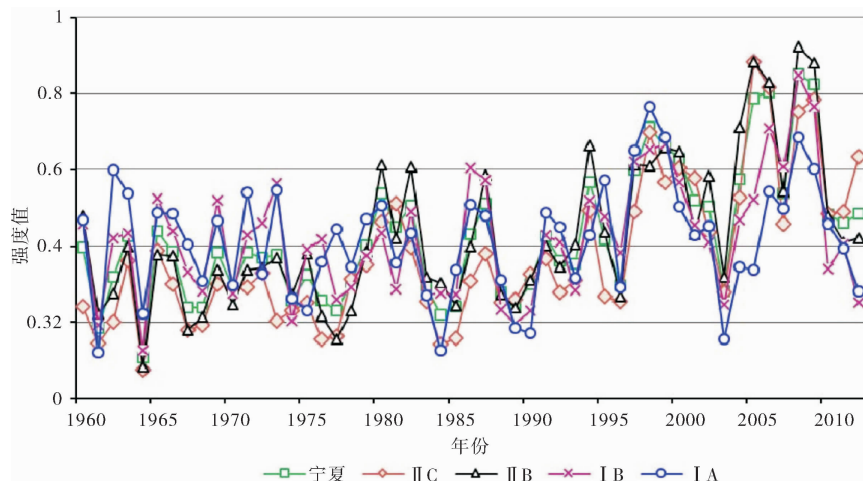


图3 宁夏及4个气候区干旱强度变化

红英等也得出了相似的结论^[15–18]。气候倾向率绝对值 $II C > II B > I B > I A$, 说明宁夏干旱气候区的干旱趋势大于半干旱气候区大于半湿润气候区。

2.2 干旱强度时间变化过程

宁夏干旱发生次数多, 频率高, 强干旱事件对宁夏农业生产, 水资源供给, 生态环境及社会经济生活影响巨大^[14]。

本文使用前文定义的干旱强度指数来表示干旱强度大小。从图 3a 分析整个宁夏地区干旱强度指数高值有 8 个时间段, 1962、1965、1979–1982、1986–1987、1991、1994–1995、1997–2002、2004–2009, 这 8 个时间段出现强干旱事件, 分析可知 1980 年代之前强干旱持续时间短, 强度小, 强度值不超过 0.5, 1980 年代之后强干旱事件发生频繁, 最强年 2008 年达到 0.85。图 3b 所示, $II C$ 区强干旱有 5 个阶段, 1981 年左右、1991、1994、1998–2002、2004–2009, 干旱强度指数最高在 2005 年; $II B$ 区有 6 个时间段, 1980–1982、1987、1991、1994、1997–2002、2004–2009, 干旱强度指数最高的年份为 2008 年; $I B$ 区干旱强度指数高值有 9 个时间段 1962–1963、1965、1972–1973、1980–1982、1986–1987、

1991–1992、1994–1995、1997–2000、2004–2009, 干旱强度指数最高的年份为 2008 年; $I A$ 区和其他 3 个气候区的变化差异较大, 强干旱年份出现在 1960、1962–1963、1971、1973、1991–1992、1995、1997–1999、2000–2001、2004–2009 年, 干旱指数值最高年份在 1998 年。

通过分析宁夏及各气候区 1995 年以来干旱强度指数高值持续出现, 且指数不断升高。1962–1963、1965–1966、1972–1973、1980–1983 年、1991、1994–1995、1997–2000、2001–2002、2004–2006、2008–2009 年宁夏及 4 个气候区出现强干旱事件。《中国气象灾害大典·宁夏卷》^[14]记录了 2000 年之前的干旱事件, 大旱年份有 1962、1965、1969、1971、1972、1973、1982、1983、1987、1991、1994、1995、1997、1998 年、1999、2000 年, 见表 2。除 $II C$ 和 $II B$ 两区 1980 年代之前的强干旱不能和宁夏干旱历史记录对应外, $II C$ 和 $II B$ 区 1980 年以来及 $I B$ 和 $I A$ 区的强干旱事件都能和历史记录相对应。2000 年以后的干旱记录参考了《宁夏水资源公报》^[29] 中的水旱灾害记录, 2006 年, 2008 年宁夏发生严重干旱, 和本文得出的结果能很好对应。

表 2 宁夏大旱发生历史记录

发生年份	干旱程度描述	发生区域
1962–1963	1962 年全自治区春夏雨水稀少, 降水量比常年偏少 30%~90%, 固原地区偏少 70%; 1963 年夏季大部分地区少雨干旱, 大秋作物缺苗严重, 荞麦早死。	固原、宁南山区, 同心, 海原
1965–1966	1965 宁夏年平均降水不足 200mm, 比常年偏少 10%~60%, 5 月份偏少 50%~90%, 6~7 月偏少 40%~80%, 8~9 月比常年偏少 80%~90%, 11–12 月出现冬干, 宁夏因旱作物成灾面积达 16.83 万 hm^2 , 其中宁南山地 15.76 hm^2 ; 1966 年大部分地区降水比往年偏少 50% 以上, 宁夏受旱面积近百万公顷。	盐同地区, 黄灌区, 宁南山区, 泾源, 灵武, 盐池的山区。
1972–1973	1972 年宁夏年平均雨量少, 是新中国成立以来的第 2 个少雨年, 有的地方河水断流, 水库干涸, 人畜饮水困难; 1973 年固原、同心等县不少地方旱象持续达 300d, 7 月中央派工作组来宁夏视察灾情。	固原、盐池、银川、石嘴山、南部山区、盐同地区
1982–1983	1982 年全区降雨量特少, 群众称这次大旱程度超过了 1928 年; 1983 年区夏旱, 盐池降水量 54 年以来最少。	中卫、灵武、同心、海原、西吉、宁南山地, 盐池
1986–1987	1986 年全区降水量少, 影响春播, 冬麦返青死苗严重, 秋旱影响山区冬麦播种, 山区 15 万眼水窖 13 万缺水; 1987 年是 1949 年以来第 3 个大旱年。	海原、宁南山区、同心、盐池
1993–1994	1993 年 5 月下旬至 7 月上旬, 大范围持续干旱, 人畜饮水困难, 作物死亡、生长停滞; 1994 年干旱的造成的损失超过了 1972、1982、1987 年。	固原、西吉、彭阳、海原、宁南山地
1997–1998	在遭受 1992 年的连续干旱后, 1997 年又发生了特大干旱; 1998 年宁南山地干旱严重。	宁南山地
2004–2009	自 2004 年 9 月至 2006 年 8 月, 宁夏大部分地区降水持续偏少, 加之气温偏高, 中部干旱带出现自有气象资料记录以来少有的持续干旱, 麻黄山、同心、韦州、兴仁、灵武、中宁等地降水量为有气象记录以来同期最低值。	麻黄山、同心、韦州、兴仁、灵武、中宁等地

注: 2000 年之前资料整理自文献[14], 2004–2009 年资料来自文献[29]

2.3 干旱特征的空间变化过程

通过干旱强度的时间特征分析选取以下 11 个强干旱发生的时间段进行强干事件空间格局分析, 年份为: 1962 - 1963, 1965 - 1966, 1972 - 1973, 1982 年, 1986 - 1987 年, 1991, 1994 - 1995 年, 1997 - 1999 年, 2000 - 2002, 2004 - 2006 年, 2008 - 2009 年, 为了更好表现强干旱事件的空间变化过程, 对 11 个典型强干旱年份的强度值进行 Kring 空间插值显示。

图 4 分别为 11 个强干旱年份干旱强度值的空间分布图。分析图 4 可知 1962 - 1963 年强干旱发生在 IA 及固原南部地区; 1965 - 1966 强干旱事件出现在 IA 与 IB 区及 II C 区北部; 1972 - 1973 年强干旱事件主要在 IB 区及 IA 区, 1981 - 1982 年除六盘山, II C 区北部平罗未发生强干旱外其他地区均发生强干旱; 1986 - 1987 年强干旱发生在 IA 与 IB 区及 II B 南部区域; 1991 年除同心, 惠农外其他区域均出现强干旱, 1991 年之后强干旱的发生扩展到全省; 1994 - 1995 年干旱最严重的为 II B 及 IB 区; 1998 - 1999 年全省境内干旱强度在 0.6 ~ 0.7 之间; 2000 - 2002 强干旱高值在 II C 与 II B 区; 2004 - 2006 年大部地区干旱强度超过 1.5, II C, II B 区干旱强度最大; 2008 - 2009 年除宁南山地部分地区干旱强度小于 0.7 之外其他均大于 0.7。

通过分析近 50 年来强干旱在空间上由区域向

全省扩展, 强度不断增强。1970 年代中期之前主要发生在 IA 区及 IB 区南部, 到 1980 年代发生强干旱的范围已扩展到全省, 但不稳定, 1991 之后的历次强干旱均为全省规模, 且强度逐步增强, 干旱强度值 2008 - 2009 年达到最大, 最高值出现在 II C, II B 区。

2.4 宁夏强干旱事件影响因素分析

2.4.1 气温、降水对强干旱事件影响

由以上分析可知 1960 - 2012 年以来宁夏强干旱发生的次数和强度都在增加, 其发生的原因与气候变化存在着必然的联系。分析宁夏及四个气候区的气温距平、降水距平百分率、累计距平、气候倾向率发现, 近 50 年来宁夏气温以 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年的速率上升, 达到了 0.01 的显著性水平; 降水以 $5\text{ mm}/10$ 年的速率减少。4 个气候区气温的气候倾向率分别为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年、 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年、 $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年、 $-0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ 年; 降水的气候倾向率分别为 $-2.9\text{ mm}/10$ 年、 $-6.4\text{ mm}/10$ 年、 $-16.7\text{ mm}/10$ 年、 $-14.7\text{ mm}/10$ 年, 升温趋势明显, 通过了 0.01 的显著性水平, 可见宁夏气候总体上为暖干化趋势, 这和李艳春、郑光芬、陈晓光等人的研究结论一致^[30-33], I 区现出冷干的趋势, 但降温趋势不显著。宁夏及 II C 区、II B 区、I B 区气温突变年份为 1986 年, I A 区无明显的突变点, 但在 1972 年和 1996 年出现两次气温的

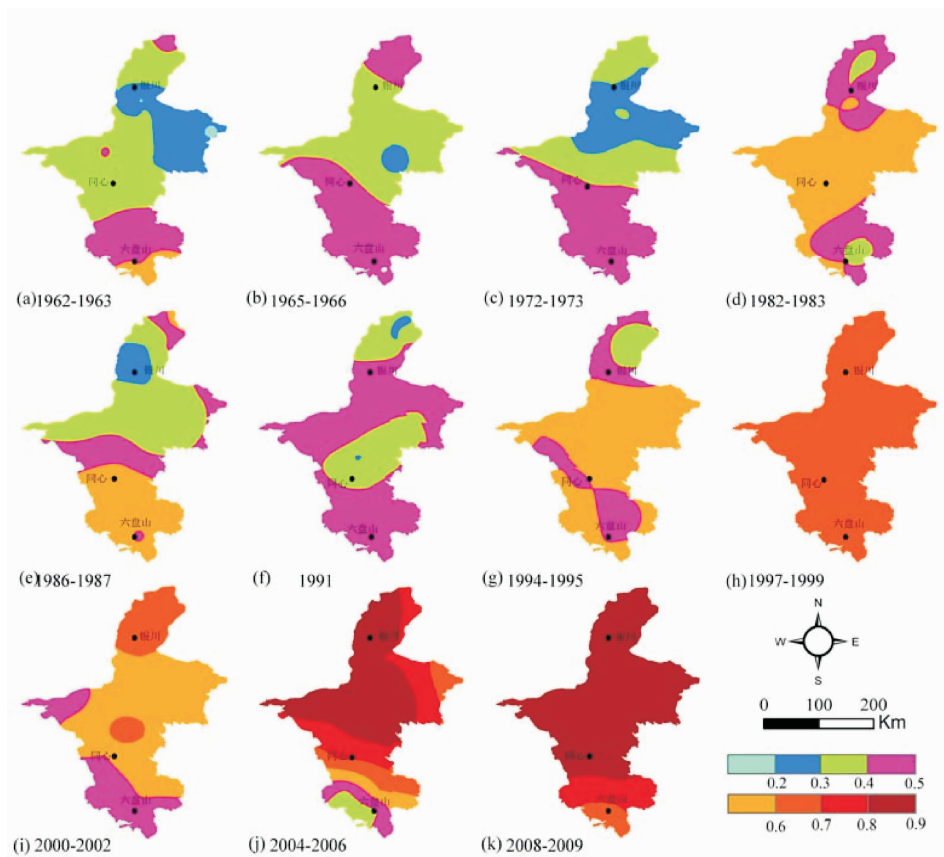


图 4 典型年份干旱强度值分布图

表 3 4 个气候区强干旱年份气温距平及降水距平百分率

年份	Ⅱ C 区		Ⅱ B		I B		IA	
	气温距平/℃	降水距平百分率/%	气温距平/℃	降水距平百分率/%	气温距平/℃	降水距平百分率/%	气温距平/℃	降水距平百分率/%
1962	-1.06	-13	-0.91	0	-0.30	0	1.37	-1
1963	-0.69	-15	-0.52	-15	-0.06	-6	1.29	-19
1965	-0.71	-38	-0.42	-28	0.10	-2	1.48	-14
1972	-0.35	-29	-0.48	-10	-0.21	-29	-0.23	-12
1973	-0.01	59	0.07	7	0.46	21	0.45	14
1980	-0.32	-49	-0.12	-45	-0.25	-15	-0.20	3
1981	-0.12	-37	-0.26	-8	-0.35	4	-0.28	15
1982	0.23	-41	0.27	-45	0.04	-37	-0.17	-29
1986	-0.58	-27	-0.39	-21	-0.33	-19	-0.26	-17
1987	0.75	-3	1.05	-28	0.90	-26	0.77	-9
1994	0.73	-14	0.67	9	0.59	5	0.48	-5
1995	-0.01	28	-0.04	25	0.27	11	0.19	-20
1998	1.66	14	1.48	25	1.24	1	1.34	-1
1999	1.41	-9	1.18	0	0.74	-14	0.89	-7
2005	0.68	-53	0.46	-51	0.53	-13	0.02	10
2006	1.78	11	1.61	-26	1.51	-16	1.07	-14
2008	0.78	13	0.25	-25	0.33	-19	0.53	-19
2009	1.53	-1	1.22	-22	0.99	-26	1.07	-17

注: 颜色加深表示该年份发生强干旱

跃升, 郑光芬, 陈晓光等也证明宁夏气温 1986 年发生突变, 之后增加显著, 1980 年代之后降水明显减少, 宁夏南部山区和整个宁夏变化不同步, 这和本文的研究结果相一致^[30,33]。宁夏的干旱化趋势和宁夏气候变化趋势是一致的, 气候的整体暖干化趋势是强干旱持续增强的原因。

表 3 所示为各气候区发生强干旱年份气温距平和降水距平百分率的统计。Ⅱ C 区 1986 年之前只有 1982 年气温距平大于 0, 1987 年之后气温上升迅速, 2006 年气温距平 1.78℃, 1986 年之后 14 个年份降水距平百分率大于 0, Ⅱ C 区发生强干旱的 9 个年份中 6 个年份降水距平百分率小于 0, 3 个年份气温距平小于 0, 1980 年降水距平百分率达 -49%, 分析可知气温升高对 IIC 区强干旱事件影响较大; Ⅱ B 区发生强旱的 10 个典型年份中, 8 个年份降水距平百分率 < 0, 最小值在 2005 年值为 -51%, 气温距平为 0.46℃, 最大值在 1998 年降水距平百分率为 25%, 气温距平 1.46℃, 可见升温对 Ⅱ B 区强干旱事件影响较大, 分析可知 Ⅱ C 区与 Ⅱ B 区 1980s 之前无强干旱事件, 主要原因是 1980s 之前气温相对较低。

I B 区发生强干旱的 17 个年份中, 降水距平百分率小于 0 有 12 个年份, 降水距平百分率最小值 1982 年, 值为 -37%, 气温距平 0.04℃, 降水距平百分率最大值 1973 年, 气温距平为 0.46℃。I A 区发生强干旱事件的年份降水距平百分率均小

于 0, 降水小于 3% 即可造成强干旱, 降水对 I A 强干旱事件影响较大。

2.4.2 ENSO 事件与宁夏强干旱事件分析

ENSO 是强的气候变化信号, 对西太平洋副高、东南季风和西南季风有显著影响^[34], 进而影响中国降水、气温等气候要素, 并对台风数和登陆台风数产生影响^[35], 导致中国气候异常, 厄尔尼诺年中国东部降水普遍偏少, 次年中国东部长江以南降水普遍增多, 同时 ENSO 与东北地区冷夏关系显著^[35]。信忠保等指出 ENSO 对宁夏不同季节降水的影响差异较大, ELNino 发生 4 个月, 夏、秋、冬三个季节降水都偏多, 但春季降水会减少, 宁夏年降水偏少 28 mm, 占常年降水量的 10%, 而 LA Nina 发生期间, 年降水偏多 24 mm, 占年降水量 9%, 降水的变化势必导致旱涝的变化, ENSO 对宁夏地区强干旱事件的影响是显而易见的^[36]。表 4 为厄尔尼诺和拉尼娜发生的年份与宁夏 4 个气候区强干旱的对照表。分析可知, Ⅱ C 区、Ⅱ B 区干旱发生的年份与 ENSO 无很好的对应关系, 表明这两个区域强干旱事件受 ENSO 影响小; I B、I A 与 ENSO 事件有很好的对应关系, ELNino 和强干旱事件的对应关系较好。ELNino 和 LA Nina 事件的接连发生, 对强干旱的影响大, 尤其是 2004 年以来 ELNino 和 LA Nina 事件的交替出现对强干旱的发生有很大的促进作用。

表4 ENSO事件与4个气候区强干旱事件对照表

暖事件	冷事件	IIC	IIB	IB	IA
1963.09 – 1964.01	1962.09 – 1963.01	1980 – 1981	1960	1960	1960
1969.01 – 1969.10	1964.03 – 1964.10	1994	1980 – 1982	1962 – 1963	1962 – 1963
1972.05 – 1973.02	1970.09 – 1971.05	1998 – 2000	1987	1965 – 1966	1969.00
1982.05 – 1983.04	1973.06 – 1974.10	2001 – 2002	1991	1969	1971、1973
1986.08 – 1987.10	1988.07 – 1989.10	2004 – 2006	1994 – 1995	1971 – 1973	1977、1979
1991.03 – 1995.10	1996.03 – 1996.09	2008 – 2009	1997 – 2000	1976	1980、1982
1997.03 – 1998.04	1998.06 – 1999.04		2001 – 2002	1980、1982	1986 – 1987
2002.05 – 2003.06	2007.11 – 2008.04		2004 – 2009	1986 – 1987	1991 – 1992
2004.06 – 2004.11	2008.08 – 2009.02			1991 – 1992	1994 – 1995
2006.05 – 2006.10				1994 – 1995	1997 – 1999
2009.08 – 2010.03				1997 – 2000	2000 – 2002
				2001 – 2002	2006 – 2007
				2004 – 2009	2008 – 2009

注：表中暖时间和冷事件的时间参考了文献[23, 36]。

3 结论

(1) 1960 – 2012 年以来宁夏及其 4 个气候区干旱化趋势明显, SPEI – 12 气候倾向率均小于 0, 且通过显著性检验, 气候倾向率绝对值 $II C > II B > I B > I A$, 表明干旱气候区的干旱趋势大于半干旱气候区大于半湿润气候区。

(2) 通过干旱强度指数确认强干旱年份有: 1962、1965、1972 – 1973、1982 – 1983、1986 – 1987、1991、1994 – 1995、1997 – 2002、2004 – 2009 年。与《中国气象灾害大典·宁夏卷》、《宁夏水资源公报》中的重大干旱事件能很好地对应, 强干旱事件由 1980 年代之前的区域规模发展到全省规模且强度不断增加。

(3) 近 50 年来宁夏气候向暖干化方向发展, 尤其 1986 年以来增温显著, 气候暖干化是宁夏近 50 年来强干旱增多的主要原因。不同气候区强干旱事件对气温、降水变化的敏感性存在差异, $II C$ 区、 $II B$ 强干旱事件主要受升温影响, $I B$ 受气温升高、降水减少共同影响, $I A$ 区主要受降水减少影响。

(4) ENSO 对宁夏气候有显著的影响, ENSO 与宁夏的强干旱事件有很好的对应关系, ELNino 事件的影响超过 LA Nina 事件的影响, $II C$ 、 $II B$ 区受 ENSO 事件影响小, ELNino 和 LA Nina 交替发生对强干旱事件影响大。

4 讨论

本文在研究的过程中对数据进行了均一化检验和订正, 提高了数据的质量和精度。使用 SPEI 对宁夏 1960 – 2013 年的干旱趋势, 强干旱事件进行了分析研究, 近 50 年来宁夏干旱趋势明显增强,

强干旱事件增多, 这和多位学者研究得出的西北地区、华北地区、和北方干旱变化的整体趋势是一致的^[9-10,20-25,37], 说明宁夏干旱化是在北方地区干旱化的大背景下发生的, 但宁夏不同气候区干旱变化的趋势有差异, 主要表现为南部湿润气候区和其他干旱半干旱区的差异, 主要原因可能为南部山区干旱的致灾因子相对较小^[17,38]。本文检测到的宁夏强干旱事件能和历史记录中的严重干旱事件很好地对应, 说明应用 SPEI 监测宁夏干旱, 尤其是强干旱事件有很好的适用性, 由于 SPEI 本身的最小研究尺度到月, 不能更加细微地刻画宁夏强干旱的发生过程, 需要在以后的研究中不断改进。影响干旱的物理机制复杂, 其发生的物理过程目前尚不十分清楚, 本文仅从降水和温度的变化分析了宁夏发生强干旱的原因, 对比了 ENSO 事件和宁夏的强干旱事件, 发现有很好的-致性, 但存在区域差异, 在今后的研究工作中需要对强干旱发生的机制, 强干旱的风险评估和防范措施进行更进一步的研究^[39]。

参考文献:

- [1] 丁一汇. 中国气象灾害大典·综合卷[M]. 北京: 气象出版社, 2008; 5 – 6, 157 – 158.
- [2] 许靖华. 太阳、气候、饥荒与民族大迁移[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1998, 28(4): 366 – 384.
- [3] 章典, 詹志勇, 林初升, 等. 气候变化与中国的战争、社会动乱和朝代变迁[J]. 科学通报, 2004, 49(23): 2468 – 2474.
- [4] 符淙斌, 马柱国. 全球变化与区域干旱化[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 752 – 760.
- [5] 李春香, 赵天保, 马柱国. 基于 CMIP5 多模式结果评估人类活动对全球典型干旱半干旱区气候变化的影响[J]. 科学通报, 2014, 59(30): 2972 – 2988.
- [6] Dai A G, Trenbert h K E, Qian T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 187022002; Relationship with soil-moisture and effect s of surface warming[J]. J. Hydrometeo, 2004, 5: 1117 – 1130.
- [7] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变

- 化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 68–72.
- [8] 邹旭恺, 任国玉, 张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 371–377.
- [9] 马柱国, 符淙斌. 1951–2004 年我国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报, 2006, 51(20): 2429–2439.
- [10] 马柱国, 符淙斌. 20 世纪下半叶全球干旱化的事实及其与大尺度背景的联系[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2007, 37(2): 222–233.
- [11] 李玉中, 陈延年, 安顺清. 北方地区干旱规律及抗旱综合技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 239–241.
- [12] 李茂松, 李森, 李育慧. 中国近 50 年来旱灾灾情分析[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 7–10.
- [13] 张强, 韩兰英, 张立阳, 等. 论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 80–91.
- [14] 夏普明. 中国气象灾害大典·宁夏卷[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 10–66.
- [15] 王素艳, 郑广芬, 杨洁, 等. 几种干旱评估指标在宁夏的应用对比分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 517–524.
- [16] 王素艳, 郑广芬, 李欣, 等. CI 综合气象干旱指数在宁夏的本地化修正及应用[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 561–569.
- [17] 李红英, 张晓煜, 曹宁, 等. 两种干旱指标在干旱致灾因子危险性中的对比分析—以宁夏为例[J]. 灾害学, 2012, 27(2): 58–61.
- [18] 李红英, 张晓煜, 王静, 等. 基于 CI 指数的宁夏干旱致灾因子特征指标分析[J]. 高原气象, 2014, 33(04): 995–1001.
- [19] 梁旭, 冯建民, 张智, 等. 宁夏干旱气候变化及其成因研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(8): 68–74.
- [20] Vicente-Serrano S, Begueria S, L'opez-Moreno J. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index[J]. Journal of Climate, 2010, 23(7): 1696–1718.
- [21] 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.
- [22] 高蓓, 姜彤, 苏布达, 等. 基于 SPEI 的 1961–2012 年东北地区干旱演变特征分析[J]. 中国农业气象, 2014, 35(6): 656–662.
- [23] 周丹, 张勃, 罗静, 等. 基于 SPEI 的华北地区近 50 年干旱发生强度的特征及成因分析[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(4): 192–202.
- [24] 熊光洁, 张博凯, 李崇银, 等. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961–2012 年干旱变化特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(3): 192–198.
- [25] 任培贵, 张勃, 张调风, 等. 基于 SPEI 的中国西北地区气象干旱变化趋势分析[J]. 水土保持通报, 2014, 34(1): 182–187, 192.
- [26] 《宁夏通志》编纂委员会. 宁夏通志·二·地理环境卷(上)[M]. 北京: 方志出版社, 2008: 116–120.
- [27] 李庆祥. 气候资料的均一性研究导论[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 43–44.
- [28] Wang Xiaolan. Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal T or F test[J]. J. Appl. Meteor. Climatol, 2008, 47: 2423–2444.
- [29] 宁夏水利厅. 宁夏水资源公报[R]. 银川: 宁夏水利厅, 2004–2009.
- [30] 陈晓光, 苏占胜, 郑广芬, 等. 宁夏气候变化的事实分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(6): 45–49.
- [31] 王连喜, 李菁, 李剑萍, 等. 气候变化对宁夏农业的影响综述[J]. 中国农业气象, 2011, 32(2): 155–160, 166.
- [32] 李艳春, 李艳芳. 宁夏近百年来气候的变化及突变分析[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 100–104.
- [33] 郑广芬, 陈晓光, 孙银川, 等. 宁夏气温、降水、蒸发的变化及其对气候变暖的响应[J]. 气象科学, 2006, 26(4): 412–421.
- [34] 许武成, 马劲松, 王文. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述[J]. 气象科学, 2005, 25(2): 212–220.
- [35] 丁一汇. 中国自然地理·中国气候[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 9–10.
- [36] 信忠保, 谢志仁, 王文. 宁夏降水变化及其与 ENSO 事件的关系[J]. 地理科学, 2005, 25(1): 49–55.
- [37] Yu M X, Li Q F, M J Hayes, et al. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951–2010? [J]. International Journal of Climatology, 2014, 34(3): 545–558.
- [38] 谭春萍, 杨建平, 杨圆, 等. 宁夏回族自治区干旱致灾危险性时空变化特征[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 89–93.
- [39] 张强, 姚玉璧, 李耀辉, 等. 中国西北地区干旱气象灾害监测预警与减灾技术研究进展及展望[J]. 地球科学进展, 2015, 30(2): 196–213.

Spatial and Temporal Pattern of Strong Drought and Its Influence Factors in Ningxia from 1960–2012

Zhang Yaozong^{1,2}, Zhang Bo¹, Liu Yanyan², Zhang Duoyong² and Zhou Dan¹

(1. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Qingyang Centre for the Management and Combat of Desertification, Longdong University, Qingyang 745000, China)

Abstract: Based on data of monthly rainfall and temperature of 19 weather stations in Ningxia from 1960 to 2012, we use the SPEI to detect the drought trend. Spatial and temporal pattern of strong drought and the influenced factors in Ningxia and its 4 climate zone are analyzed and the following conclusions are got: the climate tendency rate of SPEI-12 was less than 0. It showed that drought trend were obvious in Ningxia and its 4 climate zone from 1960–2012. The drought trend in arid zones was more obvious than semi-arid climate zone which was more obvious than in semi humid climate zone. The strong drought years confirmed by intensity indicators had a good correspondence with strong drought events noted by Ningxia Disaster Bulletin and Ningxia Water Resources Bulletin. Strong drought area was from regional scale to the scale of province from 1980s. Warming and drying climate was the main reason for the increased strong drought. Strong drought events were mainly influenced by temperature increased in II C and II B Zone, I B zone was influenced by temperature rising and precipitation decrease, I A was mainly affected by precipitation reduction. The corresponding relationship between ENSO and strong drought was well, effect of EL Nino events was over effect of LA Nina events, II B and II C zone was no significantly influenced by ENSO events, EL Nino and LA Nina events occurred alternately had important influence on strong drought events.

Key words: Ningxia; drought intensity; spatial and temporal pattern; SPEI; influenced factors