

不同干旱指数集对 1961—2009 年 东北地区干旱描述的比较

梁 丰, 刘丹丹, 徐红梅, 孙嘉骏, 冯雪菲, 慕万峰

(辽宁省朝阳市气象局, 辽宁 朝阳 122000)

摘 要:利用标准化降水蒸散指数(SPEI_TH, SPEI_PM)和自适应帕尔默干旱指数(scPDSI_PM)数据集,辅以气候倾向率、M-K 统计检验方法,对比分析了 1961—2009 年东北地区干旱时空变化特征,并对各指数集描述的东北地区典型干旱年与实况进行了比较。结果表明:1961—2009 年东北地区总体表现出变干的趋势,其中 SPEI_TH 显示的主要干旱时段在 2000 年以后,而 SPEI_PM 和 scPDSI_PM 都检测到 1980 年前后东北地区也处于一个较为明显的干期。SPEI_TH 和 SPEI_PM 显示东北地区大部多年平均的干旱发生频率介于 28%~38%之间,而 scPDSI_PM 给出的东北大部地区干旱频率在 11%~58%之间。研究显示,2000 年以后重旱和特旱频次的增加较快,这也导致重旱和特旱在各类干旱中所占的比重显著提高。1961—2009 年东北地区四季干旱强度均有不同程度的加强,其中 SPEI_TH 的四季干旱强度变化均通过了 0.05 水平的显著性检验,而 SPEI_PM 描述的各季干旱加强趋势均不显著,scPDSI_PM 只检测到秋旱强度变化是显著的。研究表明,SPEI_TH 和 scPDSI_PM 指数集对东北地区典型干旱年的描述能力要好于 SPEI_PM。

关键词:干旱指数集;东北地区;干旱特征对比

中图分类号:P462.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0183-07

Comparison of Drought Variation in Northeast China from 1961 to 2009 by Using Three Drought Index Datasets

LIANG Feng, LIU Dandan, XU Hongmei, SUN Jiajun, FENG Xuefei, MU Wanfeng

(Chaoyang Meteorological Administration, Chaoyang, Liaoning 122000, China)

Abstract: Using standardized precipitation evapotranspiration index datasets SPEI_TH (based on meteorological station data), SPEI_PM (based on CRU TS3. 22 data) and self-calibrating Palmer drought severity index dataset scPDSI_PM (based on CRU TS3. 10. 01 data), the temporal and spatial characteristics of drought in northeast China from 1961 to 2009 were analyzed. It was found that drought trend was obvious from 1961 to 2009, especially in the early 1960s to early 1980s. SPEI_TH and SPEI_PM showed that annual average frequency of drought ranged from 28% to 38% in most areas of the northeast China, but scPDSI_PM indicated that the drought frequency varied between 11% and 58%. SPEI_TH and scPDSI_PM had significant decreasing trend in most areas of northeast China, while the obvious decreasing tendency of SPEI_PM was only in eastern and southern parts of northeast China. It also could be seen that the severe and extreme drought frequencies were increasing more rapidly after 2000 than any other periods. So the proportion of severe and extreme drought was rising in different grades of drought after 2000. The drought intensity was strengthening with different levels in four seasons of northeast China. Drought intensity of SPEI_TH passed the significant test at level of 0.05 in the four seasons. But for scPDSI_PM, change of drought intensity only in autumn was obvious. This study shows that SPEI_TH and scPDSI_PM have better ability than SPEI_PM in terms of describing typical drought year for northeast China. In order to identify the different time scales and intensity drought, we should do more work for the evaluation and comparison of drought indexes.

Keywords: drought index datasets; northeast China; comparison of drought characteristics

根据不同学科对干旱的定义,干旱通常可分为气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱四类。按其发生程度不同,又可分为轻旱、中旱、重旱和特旱四个等级。研究表明,自 20 世纪 50 年代以来,全球很多地区都有明显的变干趋势,特别是 70 年代以后,全球干旱面积显著增加^[1-3]。中国地域广袤,各地气候与自然地理条件差异较大,这就导致干旱问题在中国表现出很强的区域特征。研究显示,近 40 年,频繁发生的干旱已导致中国西北、东北和华北地区出现严重的水资源短缺和生态环境退化等一系列环境问题^[4-11]。

干旱指数能够有效地监测和评估干旱的发生与发展,因此得到广泛应用。目前应用较多的干旱指数有帕尔默干旱指数(PDSI)、相对湿润度指数(MI)、综合气象干旱指数(CI)和标准化降水蒸散指数(SPEI)等^[12-15]。近年来,不少学者利用这些干旱指数开展了一系列卓有成效的研究工作,对于进一步了解不同地区的干旱状况和未来演变趋势提供了参考^[16-19]。但我们也注意到,在研究干旱问题时,不同的学者会用到不同的干旱指数集,而这些指数集对全球或区域干旱的描述有一定差异。

东北地区是干旱的多发区,近年来,研究人员应用干旱指数对东北干旱问题进行了相关分析,并取得了显著的成果^[20-21]。但对不同干旱指数集刻画的东北干旱差异也没有一个清晰的认识。鉴于此,本文应用基于站点数据的 SPEI_TH 和基于 CRU 数据的全球干旱指数集 SPEI_PM, scPDSI_PM, 从干旱时空变率、干旱频次、干旱强度和对典型干旱年的描述等方面,对 3 套干旱指数集描述的东北地区 1961—2009 年干旱演变进行比较。希望通过此类研究,能够加深人们对东北地区干旱变化的了解与认识,还能今后利用这些干旱指数集开展东北地区气候、生态、水文等多方面研究提供参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

本文所指东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江省和内蒙古东部的赤峰市、通辽市、兴安盟和呼伦贝尔市,总面积 124.3 万 km²。东北地区自南向北跨中温带与寒温带,四季分明,夏季温热多雨,冬季寒冷干燥。东北地区东南部年均降水超过 800 mm,属湿润区;而西北部地区年均降水不足 400 mm,属半干旱区。

1.2 数据介绍

(1) SPEI_TH: 基于中国气象局国家气象信息中心

提供的东北地区 78 个地面气象站 1961—2009 年逐月气温、降水数据所计算,本文计算的 SPEI 为 12 个月时间尺度,计算潜在蒸散发时利用 Thornthwaite 公式,关于 SPEI 的更多信息可参考 Vicente-Serrano 等的工作^[16]。

(2) SPEI_PM: 来自西班牙国家研究委员会(CSIC),该数据集基于 CRUTS3. 22(关于 CRU 资料的详细说明及在中国地区的适用性可参考文献^[22-23])气候数据,计算的 SPEI 为 12 个月时间尺度,计算潜在蒸散发时利用 Penman-Monteith 公式,空间分辨率 0.5°×0.5°,下载网址为(<http://digital.csic.es/>)。

(3) scPDSI_PM: scPDSI_PM 数据来源于英国环境数据档案中心(CEDA)。该数据集基于 CRUTS3. 10. 01 气候数据,计算潜在蒸散发时利用 Penman-Monteith 公式,空间分辨率 0.5°×0.5°,下载网址为(<http://www.ceda.ac.uk/>)。

(4) 干旱实况:以《中国气象干旱图集(1956—2009)年》^[24]的记录为准,图集的时间分辨率为季节尺度。

1.3 研究方法

本文采用双线性插值方法将 SPEI_PM, scPDSI_PM 格点数据插值到站点,采用气候倾向率、M-K 统计检验方法对 3 套干旱指数集进行分析。季节的划分标准为:当年的 12 月和下一年的 1 月、2 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季。干旱的划分标准见表 1^[15,20]。

表 1 干旱等级划分

干旱等级	SPEI 值	scPDSI 值
轻旱	$-1.0 < \text{SPEI} \leq -0.5$	$-2.0 < \text{scPDSI} \leq -1.0$
中旱	$-1.5 < \text{SPEI} \leq -1.0$	$-3.0 < \text{scPDSI} \leq -2.0$
重旱	$-2.0 < \text{SPEI} \leq -1.5$	$-4.0 < \text{scPDSI} \leq -3.0$
特旱	$\text{SPEI} \leq -2.0$	$\text{scPDSI} \leq -4.0$

2 结果与分析

2.1 1961—2009 年东北地区干旱指数时间变化

图 1 给出了 1961—2009 年东北地区干旱指数时间变化。可以看出各干旱指数都呈减小趋势,表明研究时段内东北地区总体表现出变干的趋势。其中 SPEI_TH(图 1A)的斜率为-0.016,主要的干旱时段在 2000 年以后。2000—2009 年 SPEI_TH 值小于-0.5 的年份有 6 a,即 2000 年以后东北地区大多处于干旱的状态,其中 2000 年、2001 年为中度干旱($-1.5 < \text{SPEI_TH} \leq -1.0$)。SPEI_PM(图 1B)的变化特征与 SPEI_TH 略有不同,可以看出 SPEI_PM 有两个主要的干期,分别为 20 世纪 70 年代末到 80 年代初和 2000 年以后,其中

2000 年以后有 5 年 SPEI_{PM} 的值小于 -0.5 , 但均未达到中旱等级。scPDSI_{PM} 的演变趋势与 SPEI_{PM} 类似, 主要干期也在 1980 年前后和 2000 年以后。从 M-K 趋势变化曲线(UF)可以看出, 各干旱

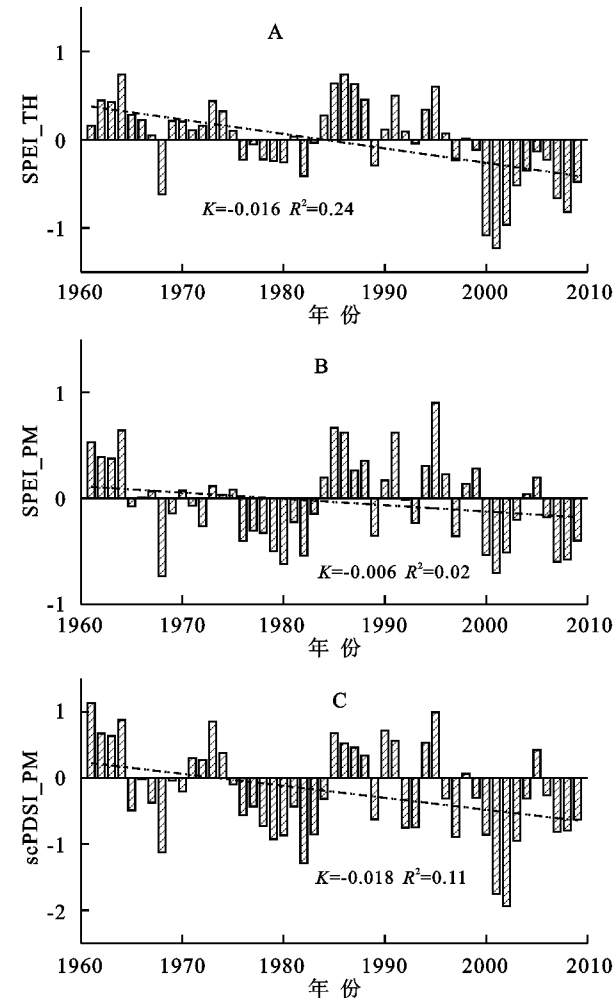


图 1 1961—2009 年东北地区干旱指数时间变化特征

2.2 东北地区干旱发生频率及干旱指数倾向率

附图 6A—C 给出了东北地区干旱发生频率的空间分布。由附图 6A 可知, SPEI_{TH} 显示辽宁大部、吉林中北部和黑龙江大部是干旱发生频率的高值区, 其中高值中心位于黑龙江中东部, 多年平均的干旱发生频率达到 40%。SPEI_{PM}(附图 6B)显示除内蒙古的呼伦贝尔和黑龙江北部地区, 在东北地区大部干旱发生频率均较高, 黑龙江中部是干旱发生频率的高值中心, 多年均值接近 45%。scPDSI_{PM} 给出的干旱频率空间分布与 SPEI_{PM} 接近, 高值区主要位于东北地区东南部, 其中黑龙江中西部是干旱发生频率的高值中心。SPEI_{TH} 和 SPEI_{PM} 都显示东北地区大部多年平均的干旱发生频率介于 28%~38% 之间。scPDSI_{PM} 对干旱频率大小的描述与 SPEI_{TH}, SPEI_{PM} 不同, 其给出的东北大部地区干旱频率介于 11%~58% 之间。

指数的演变较为一致, 即 60 年代初到 80 年代初, 东北地区干旱化趋势明显, 通过了 0.05 水平的显著性检验。80 年代中期到 90 年代中后期干旱趋势有所减弱, 2000 年以后干旱又开始加剧。

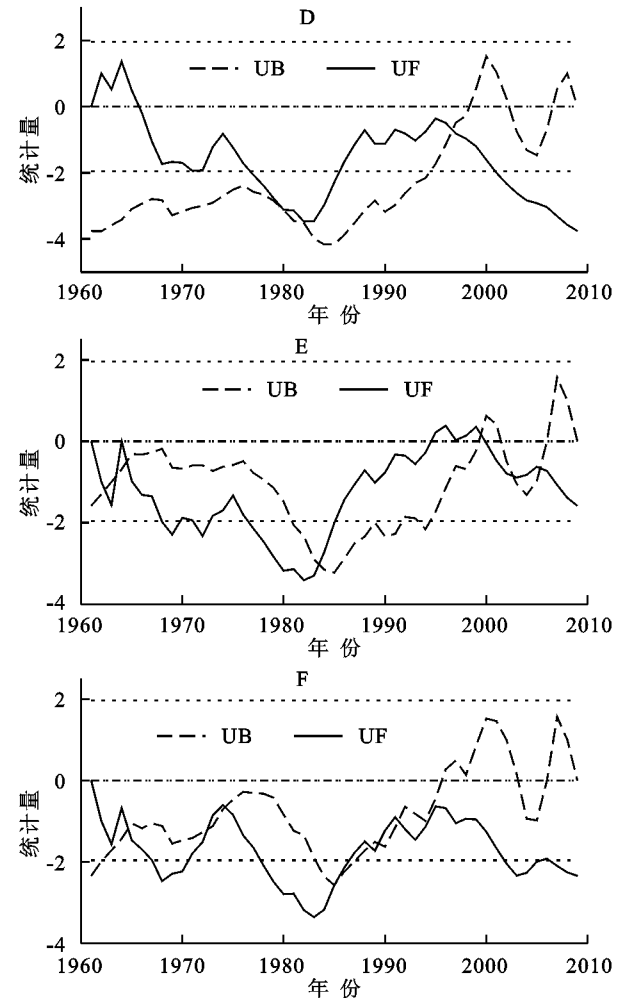


图 2A—C 是 1961—2009 年各指数月值变率的空间分布。可以看出东北地区大部 SPEI_{TH}(图 2A)和 scPDSI_{PM}(图 2C)都呈显著的减小趋势, 即 SPEI_{TH} 和 scPDSI_{PM} 均检测到 1961—2009 年东北地区显著变干的趋势。SPEI_{PM}(图 2B)在东北地区大部也以减小为主, 但只有东部和南部的一些地区通过了显著性检验, 其中吉林中北部地区的 SPEI_{PM} 还表现出一些增大的趋势。

2.3 不同等级干旱发生频次年际变化

图 3 是不同等级干旱发生频次的年际变化。就轻旱(图 3A—C)而言, SPEI_{TH} 和 SPEI_{PM} 均显示 70 年代和 2000 年以后轻旱发生频次偏多, 年均有 168.4 站次和 185.3 站次轻旱发生。scPDSI_{PM} 给出的轻旱多发期在 70 年代和 90 年代, 尤以 90 年代最多, 年均轻旱发生频次达到 170.1 站次, 70 年代为 169.4 站次。

各指数均检测到 2000 年以后中旱(图 D—F)发生频次高于其他时期,SPEI_TH,SPEI_PM 和 scPDSI_PM 给出的 2000 年以后年均中旱发生频次分别为 159.1,146.4,136.2 站次,明显高于 2000 年以前的 80.2,103.9,86.2 站次。

SPEI_TH 和 scPDSI_PM 的计算结果表明 2000

年以后重旱(图 G—I)最多,而 SPEI_PM 显示 70 年代是东北地区重旱发生最集中的时期,2000 年以后次之。此外,SPEI_TH 描述的 1961—2009 年东北地区重旱频次增加最快,气候倾向率达到 21.7 站次/10 a,SPEI_PM 和 scPDSI_PM 给出的气候倾向率分别为 3.6 站次/10 a 和 9.9 站次/10 a。

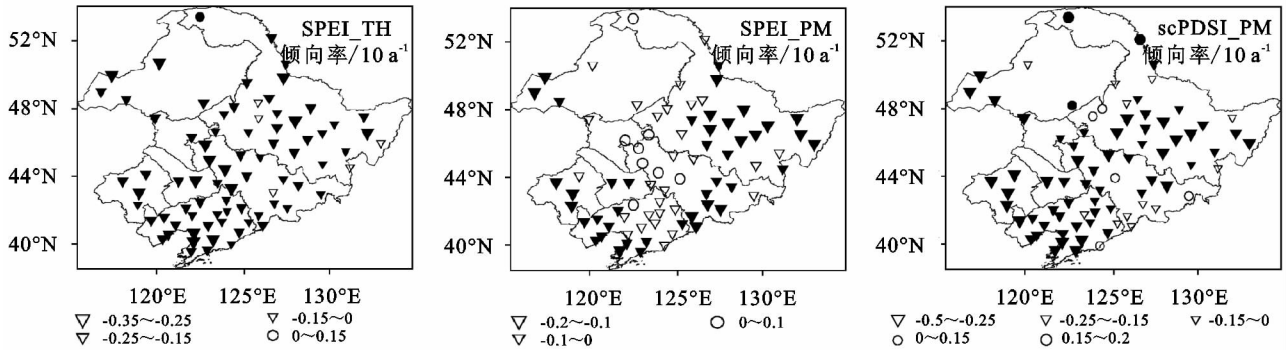


图 2 东北地区干旱指数倾向率(实心标注表示通过了 0.05 水平的显著性检验)

可以看出,SPEI_TH 和 scPDSI_PM 对东北地区特早年际变化(图 3J—L)的描述与重旱是基本一致的,2 个指数也表明 2000 年以后特旱发生频次最多。此外,SPEI_TH 计算的的特早频次倾向率在 3 个指数中仍为最大,达到 10.6 站次/10 a;scPDSI_PM 次之,为 4.4 站次/10 a;SPEI_PM 最小,为 0.9 站次/10 a。

进一步研究发现,随着 2000 年以后重旱和特旱频次的增加,两类干旱在不同等级干旱中所占的比重也在提高。3 个干旱指数给出的 2000 年以前重旱和特旱发生频次占各类干旱总频次的百分比分别为 17.6%,15.9%和 13.6%,而 2000 年以后这一比例变为 34.5%,18.3%和 26.6%。可以看出,除 SPEI_PM 小幅提高外,SPEI_TH 和 scPDSI_PM 都提高了近一倍。

2.4 不同季节干旱强度时间变化

图 4 给出了各指数描述的东北地区不同季节干旱强度时间变化及 M-K 趋势演变。从线性趋势来看,不同季节干旱强度的斜率均为负值,即 1961—2009 年东北地区四季干旱强度均有不同程度的加强。

就春季(图 4A—C)而言,研究时段内 SPEI_TH 给出的干旱强度变化通过了 0.05 水平的显著性检验,而 SPEI_PM 和 scPDSI_PM 的干旱加强趋势不显著。对比各指数 M-K 趋势变化曲线可以看出,60 年代初到 80 年代中期,3 个指数的干旱强度都呈显著的加强趋势($UF < -1.96$);80 年代中期到 90 年代末干旱强度有所减弱;2000 年以后 SPEI_TH 的加强趋势是显著的,而 SPEI_PM 和 scPDSI_PM 的加强趋势均不明显。SPEI_TH 描述的夏季、秋季和冬季干旱强度(图 4D,4G,4J)变

化与春季基本一致,可以看出,三个季节的干旱加强趋势也通过了显著性检验,只是气候倾向率略小于春季。SPEI_PM 显示的夏季、秋季和冬季干旱强度变化(图 4E,4H,4K)与春季也很类似。首先,各季节干旱强度升降变化时段是一致的;其次,夏季、秋季和冬季的干旱强度演变在研究时段内也没有通过显著性检验。scPDSI_PM 检测到东北地区秋季干旱强度(图 4I)加强趋势达到了 0.05 的显著性水平,斜率为 -0.024,而夏季和冬季的干旱加强趋势均不显著。综上所述,东北地区四季干旱强度均表现出不同程度的加强,这也是 2000 年以后重旱和特旱在各类干旱中所占比例提高的原因。

2.5 各干旱指数集与实况的对比

为了更好地检验各指数对东北地区实际干旱状况的描述能力,特别是对重旱和特旱的检测能力,我们对各指数干旱强度空间分布与东北地区干旱实况(实况资料来自中国气象干旱图集)进行了比较。见附图 7,选取 2002 年秋季(重旱年)和 2007 年秋季(特旱年)作为典型年进行对比(图中实线椭圆即为重旱和特旱落区)。

就各指数与东北地区典型重旱年的对比来看,SPEI_TH(附图 7A)检测到的重旱落区与实况基本一致,即在辽宁北部、吉林西部和内蒙的通辽一带旱情较重,但对于黑龙江西部地区发生的重旱 SPEI_TH 没能有所体现。SPEI_PM(附图 7B)明显低估了 2002 年秋季东北地区的干旱强度,在重旱地区 SPEI_PM 只表现出正常略偏干和轻度干旱的等级。相比于 SPEI_TH 和 SPEI_PM,scPDSI_PM(附图 7C)对 2002 年东北地区秋旱的描述要更准确。首先,scPDSI_PM 对东

北南部地区干旱范围和强度有更好的把握;其次,scPDSI-PM 能够检测到黑龙江西部的重旱。

2007 年东北地区发生了严重的秋旱,三个指数中 SPEI-TH 对干旱范围和强度的把握与实况最接近。SPEI-PM 与 scPDSI-PM 同样检测到东北西部严重干旱的事实,但二者对呼伦贝尔东部、黑龙江西北部和吉林中北部的干旱程度有所低估,同时 SPEI-

PM 高估了黑龙江中部的干旱强度。

总的来看,SPEI-TH 和 scPDSI-PM 对典型干旱年的再现能力要好于 SPEI-PM。但本文仅就季节尺度的干旱强度进行了探讨,若要检验 2 个指数在东北地区干旱监测、评估中是否较其他指数更具优越性,特别是能否对不同时间尺度、不同强度的干旱进行准确甄别,还需要在今后做更多的验证和比较工作。

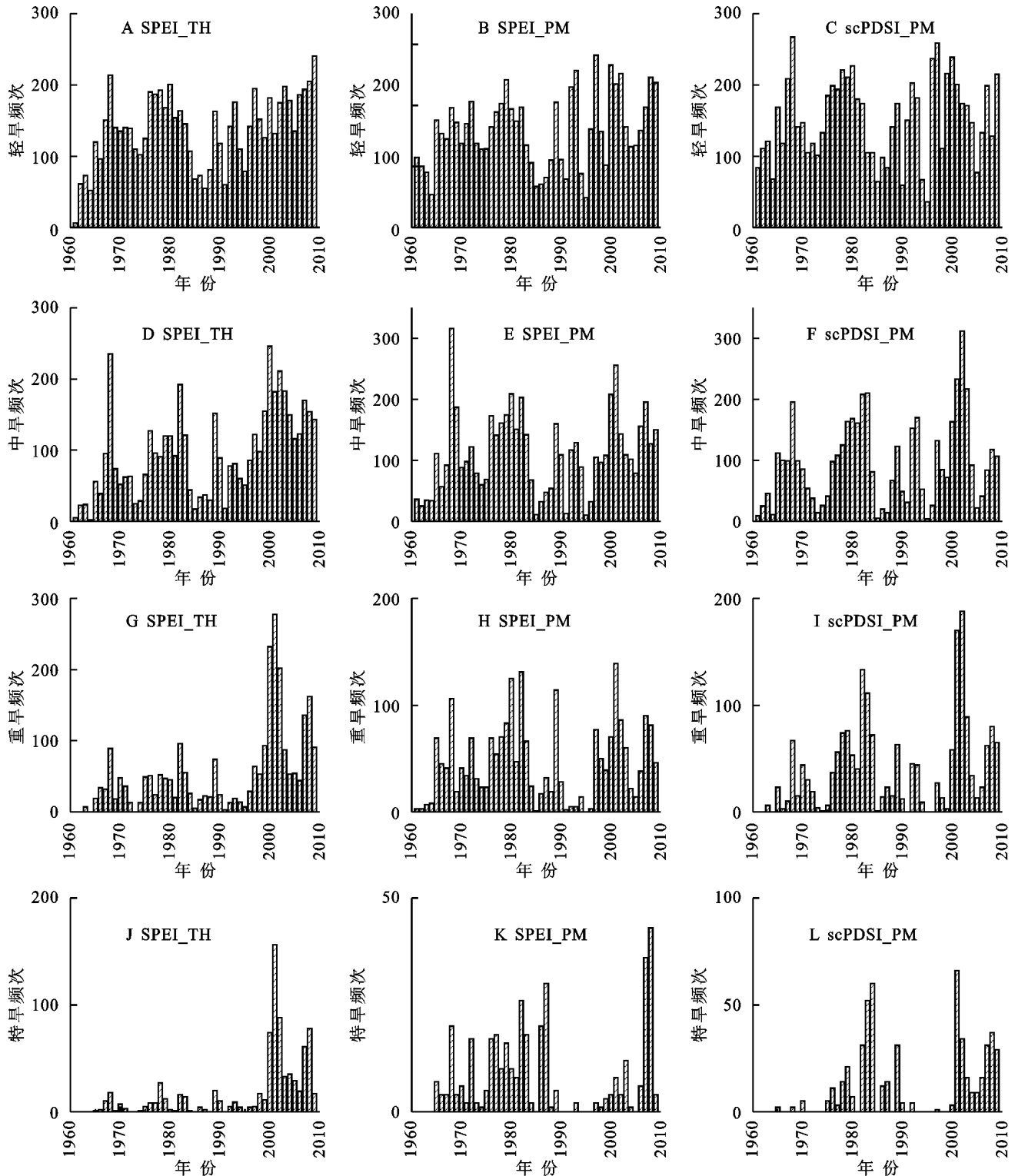


图 3 不同等级干旱发生频次年际变化

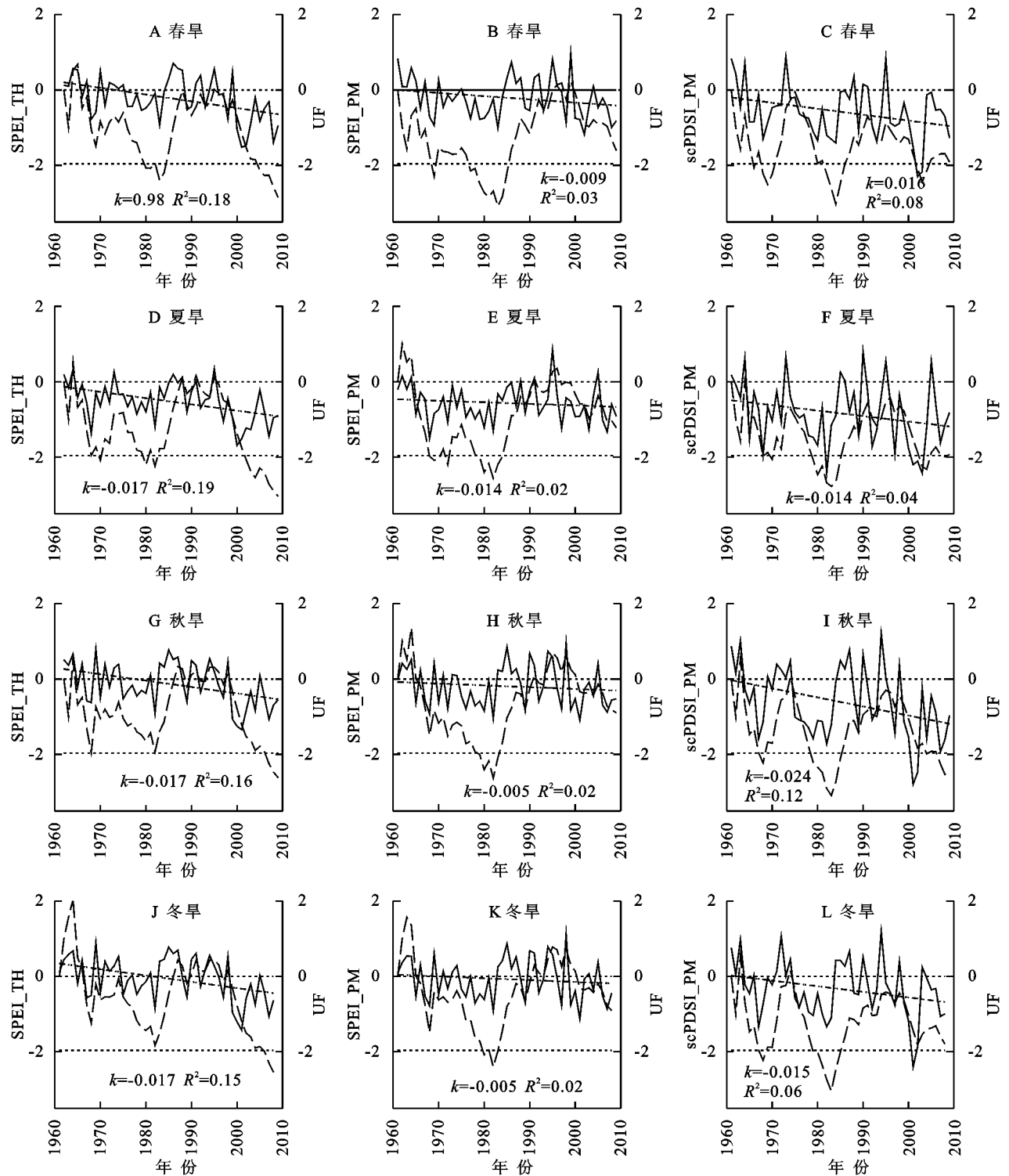


图 4 不同季节干旱强度时间变化

3 结论

本文应用 SPEI_TH, SPEI_PM 和 scPDSI_PM 数据集, 对比分析了 1961—2009 年东北地区干旱时空变化、干旱发生频率、不同等级干旱发生频次和不同季节干旱强度的演变特征, 并对各指数描述的东北地区典型干旱年与实况进行了比较, 得出以下主要结论:

(1) 1961—2009 年东北地区总体表现出变干的

趋势, 其中 SPEI_TH 显示的主要干旱时段在 2000 年以后, 而 SPEI_PM 和 scPDSI_PM 都检测到 1980 年前后东北地区也处于一个较为明显的干期。

(2) 各指数对东北地区干旱频率空间分布的描述是接近的, 且 SPEI_TH 和 SPEI_PM 都显示东北地区大部多年平均的干旱发生频率介于 28%~38% 之间。scPDSI_PM 对干旱频率大小的描述与 SPEI_TH, SPEI_PM 不同, 其给出的东北大部地区干旱频

率介于 11%~58% 之间。从干旱指数变率来看,东北地区大部 SPEI_TH 和 scPDSI_PM 都呈显著的减小趋势,SPEI_PM 在东北地区大部也以减小为主。

(3) 就轻旱而言,SPEI_TH 和 SPEI_PM 均显示 70 年代和 2000 年以后轻旱发生频次偏多,而 scPDSI_PM 描述的轻旱多发期在 70 年代和 90 年代。各指数均检测到 2000 年以后中旱发生频次高于其他时期。SPEI_TH 和 scPDSI_PM 的计算结果表明 2000 年以后重旱最多,而 SPEI_PM 显示 70 年代是东北地区重旱发生最集中的时期。SPEI_TH 和 scPDSI_PM 对东北地区特旱年际变化的描述与重旱是基本一致的。进一步研究发现,2000 年以后重旱和特旱在不同等级干旱中所占的比重明显提高。

(4) 各指数描述的 1961—2009 年东北地区四季干旱强度均有不同程度的加强。其中 SPEI_TH 给出的四季干旱强度变化均通过了 0.05 水平的显著性检验,而 SPEI_PM 描述的各季干旱加强趋势均不显著,scPDSI_PM 只检测到秋季干旱强度变化是显著的。

(5) 从各指数与东北地区干旱实况的对比来看,SPEI_TH 和 scPDSI_PM 对东北地区典型干旱年的描述能力要好于 SPEI_PM。但本文仅就季节尺度的干旱强度这一个方面进行了探讨,若要检验各指数在东北地区干旱监测、评估中是否较其他指数更具优越性,还需要在今后做更多的验证和比较工作。

参考文献:

- [1] Dai A, Trenberth K E, Karl T R. Global variations in droughts and wet spells: 1900—1995[J]. *Geophysical Research Letters*, 1998,25(17):3367-3370.
- [2] Dai A. Drought under global warming: A review[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2011,2(1):45-65.
- [3] Cook B I, Smerdon J E, Seager R, et al. Global warming and 21st century drying[J]. *Climate Dynamics*, 2014,43(9/10):2607-2627.
- [4] 马柱国. 我国北方干湿演变规律及其与区域增暖的可能联系[J]. *地球物理学报*, 2005,48(5):1011-1018.
- [5] 马柱国,符淙斌. 中国干旱和半干旱带的 10 年际演变特征[J]. *地球物理学报*, 2005,48(3):519-525.
- [6] 马柱国,符淙斌. 1951—2004 年中国北方干旱化的基本事实[J]. *科学通报*, 2006,51(20):2429-2439.
- [7] 马柱国,任小波. 1951—2006 年中国区域干旱化特征[J]. *气候变化研究进展*, 2007,3(4):195-201.
- [8] 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.
- [9] 叶敏,钱忠华,吴永萍. 中国旱涝时空分布特征分析[J]. *物理学报*, 2013,62(13):1-13.
- [10] 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其展望[J]. *地球科学进展*, 2015,30(2):196-213.
- [11] 祁添垚,张强,孙鹏,等. 气候暖化对中国洪旱极端事件演变趋势影响研究[J]. *自然灾害学报*, 2015,24(3):143-152.
- [12] 王林,陈文. 标准化降水蒸散指数在中国干旱监测的适用性分析[J]. *高原气象*, 2014,33(2):423-431.
- [13] 李柏贞,周广胜. 干旱指标研究进展[J]. *生态学报*, 2014,34(5):1043-1052.
- [14] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等. 农业干旱监测研究进展与展望[J]. *地理学报*, 2015,70(11):1835-1848.
- [15] 王兆礼,李军,黄泽勤,等. 基于改进帕默尔干旱指数的中国气象干旱时空演变分析[J]. *农业工程学报*, 2016,32(2):161-168.
- [16] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index [J]. *Journal of Climate*, 2010,23(7):1696-1718.
- [17] Schrier G, Barichivich J, Briffa K R, et al. A scPDSI-based global data set of dry and wet spells for 1901—2009[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013,118(10):4025-4048.
- [18] 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.
- [19] 张巧凤,刘桂香,于红博,等. 基于标准化降水指数的锡林郭勒盟干旱特征分析[J]. *自然灾害学报*, 2015,24(5):119-128.
- [20] 孙滨峰,赵红,王效科. 基于标准化降水蒸发指数(SPEI)的东北干旱时空特征[J]. *生态环境学报*, 2015,24(1):22-28.
- [21] 马建勇,许吟隆. 东北地区作物生长季干旱时空分布特征及其环流背景[J]. *中国农业气象*, 2013,34(1):81-87.
- [22] New M, Hulme M, Jones P. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901—96 monthly grids of terrestrial surface climate[J]. *Journal of Climate*, 2000,13(13):2217-2238.
- [23] 闻新宇,王绍武,朱锦红,等. 英国 CRU 高分辨率格点资料揭示的 20 世纪中国气候变化[J]. *大气科学*, 2006,30(5):894-904.
- [24] 中国气象局. 中国气象干旱图集(1956—2009 年)[M]. 北京:气象出版社,2010.