

文章编号:1672-3031(2016)06-0425-06

典型气象干旱指标在东北地区的适用性分析

王亚许^{1,2}, 孙洪泉^{1,2}, 吕娟^{1,2}, 苏志诚^{1,2}

(1. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 干旱指标的适用性分析是准确监测旱情的重要前提。气象干旱指标相较于水文和农业干旱指标等能更准确的反应旱情且应用更加广泛。东北地区是我国重要的粮食主产区, 同时也是干旱灾害的易发区。针对东北地区开展典型气象干旱指标的适用性具有重要的现实意义和应用价值。本研究利用东北三省78个气象站点1954—2013逐月降雨及温度资料, 计算逐月的标准化降雨指数、标准化降雨蒸散指数、帕尔默干旱指数、降雨Z指数、降雨距平百分率和综合气象干旱指数。通过各指标的季节干旱识别的结果与历史干旱资料进行对比, 分析其识别准确性, 并作为指标适用性评价的依据, 比较了各干旱指标在不同地区、不同季节的适用性。结果表明: 标准化降雨指数对于东北三省各个季节都具有较好的适用性; 降雨距平指数更适用于吉林和黑龙江, 季节上尤其适用于春季和秋季。

关键词: 气象干旱; 干旱指标; 适用性; 东北地区

中图分类号: S423

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2016.06.004

1 研究背景

干旱指标是定量评估干旱的严重程度、历时长短和发生频率的重要手段^[1]。由于干旱具有发生发展过程慢、影响因素多和非结构化的特点, 单一指标很难达到时空上的普遍适用性, 迄今为止还未找到一种普遍适用于不同地区、不同时间段的干旱指标^[2-3]。因此, 分析干旱指标的适用性是准确监测旱情的重要前提。由于长期的气象干旱可形成土壤和水文干旱, 而长期的土壤和水文干旱又可导致农业干旱, 因此气象干旱指标用于干旱监测尤为重要^[4]。同时, 由于气象观测相较于水文和农业等干旱监测受人类活动的影响最小, 最能反映干旱的自然属性。所以, 分析典型气象干旱指标的适应性具有重要的现实意义和应用价值。

气象干旱指标一般是根据降雨量来定义的, 如考虑降雨量偏离正常值多少的降雨距平指数(Pa), 以及考虑了降雨概率分布的标准化降雨指数(SPI)和降雨Z指数(Z)等。除了根据降雨定义的指标外, 还有进一步考虑温度和蒸散影响的气象干旱指标, 如帕尔默干旱指数(PDSI)和标准化降雨蒸散指数(SPEI)等。此外, 还有考虑多表征因子的综合指数, 如基于SPI指数、相对蒸散量和前期降水量的综合气象干旱指数(CI)等。针对这些典型的气象干旱指标, 已有许多适应性的研究成果^[1-2,5]。针对我国不同地区的干旱指标适用性也有广泛研究。乔丽等^[6]对陕西省不同季节的干旱识别进行分析, 认为标准化降水指数、降雨距平指数和土壤相对湿度指标较为适宜。谢五三等^[7]分析了五种干旱指标在安徽省的适用性, 结果表明对于安徽干旱监测业务, CI指数最优。马海娇等^[8]通过比较Pa、SPI、Z指数等干旱指标在滦河流域的干旱评价, 认为SPI指数优于Z指数和Pa。付丽娟等^[9]分析了3种干旱指标在内蒙古地区的适用性, 认为Pa和SPI指数更具适用性。潘新华等^[10]研究了典型干旱指标在广西的适用性及改进, 结果表明SPI可以作为广西各地区干旱评价的依据。黄中艳等^[11]通过研究几种干旱指标在云南大旱中的适用性, 提出了Pa指数适用于云南农业干旱监测。这些研究表明, 不同地

收稿日期: 2016-04-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51209220); 水利部公益性行业科研专项(201401036); 中国水利水电科学研究院科研专项(JZ0145B592016)

作者简介: 王亚许(1990-), 男, 河南人, 硕士生, 主要从事干旱监测研究。E-mail: wangyxiwhr@sina.com

通讯作者: 孙洪泉, 男(1983-), 辽宁人, 高级工程师, 主要从事旱灾及对策研究。E-mail: sunhq@iwhr.com

区、不同季节的适宜干旱指标不同,因此需要针对不同地区开展指标的适应性研究。

我国东北地区是重要的粮食主产区和干旱易发区,其地处中温带和寒温带,年内降雨和温度变化较大,具有独特的气候和地理条件。本研究针对东北地区,对标准化降雨指数(SPI)、标准化降雨蒸散指数(SPEI)、帕尔默干旱指数(PDSI)、降雨Z指数(Z)、降雨距平百分率(Pa)及综合气象干旱指数(CI)等6种典型气象干旱指标开展区域和季节的适用性研究。通过本研究,能够更准确的监测气象干旱,从而采取合理的抗旱减灾措施,对稳定东北粮食生产、保障国家粮食安全具有举足轻重的作用。

2 资料与方法

2.1 资料 本研究的数据资料主要涉及用于指标计算的气象数据以及用于结果验证的历史干旱资料。气象数据包括东北地区78个气象站点1954–2013年长序列逐月降雨及温度数据,资料来源于“中国气象数据网”,其中辽宁23个站点,吉林24个站点,黑龙江31个站点。历史干旱资料来源于《中国历史干旱》^[12]、《中国水旱灾害》^[13]以及抗旱统计报表,时间序列为1954—2013年。由于这3个不同来源的资料对历史干旱的表述方式不同,因此先对资料进行整编,通过对干旱的发生时间以及相关的文字描述,确定干旱发生的季节及严重程度,最终得到了以地市为单位、分季节的旱灾数据。通过气象数据及资料整编,剔除了部分气象数据或干旱资料缺失的地市,如黑龙江七台河市、大庆市和大兴安岭地区,吉林省辽源市,辽宁省辽阳市和盘锦市。

干旱指标判别的干旱分季节进行统计,春旱为3、4、5月份,夏旱为6、7、8月份,秋旱为9、10、11月份,12月与次年的1、2月份为当年的冬旱。但由于东北地区冬旱对农业生产影响较小,且各种资料中对冬旱的记载较少,故本研究不针对冬旱作指标适用性分析。以哈尔滨市为例的历史干旱资料整编结果如表1所示,部分无旱灾发生的年份未列出。在统计的1954—2013年中,各省分季节的干旱场次数量如表2所示。

表1 哈尔滨市历史干旱记录

年份	干旱季节	年份	干旱季节	年份	干旱季节
1954	春旱、夏旱	1975	春旱、夏旱、秋旱	1993	春旱
1955	春旱	1976	春旱、夏旱、秋旱	1996	春旱、夏旱、秋旱
1958	春旱	1977	春旱、夏旱	1997	春旱、夏旱
1959	春旱	1978	春旱、夏旱	1998	夏旱
1961	春旱	1979	春旱	1999	春旱、夏旱
1962	春旱	1980	春旱、夏旱	2000	春旱、夏旱、秋旱
1963	春旱	1982	春旱、夏旱	2001	春旱
1964	春旱、秋旱	1984	春旱	2002	春旱
1967	春旱	1985	春旱	2003	春旱
1968	夏旱	1986	春旱	2004	春旱
1971	春旱	1989	夏旱	2006	春旱
1972	夏旱	1990	春旱	2007	春旱、夏旱
1974	春旱、夏旱、秋旱	1992	春旱、夏旱	2012	春旱、夏旱、秋旱

2.2 方法 针对SPI、SPEI、PDSI、Z、Pa和CI等6种典型的气象干旱指标,进行不同地区、不同季节的指标适用性分析。表3是各指标的基本原理、等级划分及优缺点。Pa指数是表征某时段降水量较常年同期值的偏离百分比,是计算简单、广泛应用的干旱指标之一。PDSI指数是

表2 东北三省分季节干旱场次

省份	春旱	夏旱	秋旱
辽宁	144	185	32
吉林	163	112	67
黑龙江	184	170	23
合计	491	467	122

根据水分亏缺量及其持续时间的原理,应用水量平衡方法,考虑前期天气条件对后期的影响的干旱指标,具体算法见文献[14],其中蒸散发的计算采用FAO Penman-Monteith方法。SPI指数是假设降水分布服从 Γ 分布,在将其正态标准化后,实测降水量相对降水概率分布函数的标准偏差即为SPI指数,具体算法见文献[15]。SPEI指数是在SPI指数的基础上引入气温,考虑蒸散对干旱的作用,具体算法见文献[16]。Z指数与SPI指数十分相似,也是根据正态标准化后的降水分布进行干旱指标的定义,所不同的是Z指数是假设降水服从Person III型分布,具体算法见文献[17]。CI指数是基于SPI指数、相对蒸散量和前期降水量等为基础的综合气象干旱指数,具体算法见标准^[18]。

虽然SPI指数、SPEI指数和Pa指数等通常存在1月、3月或6月等不同时间尺度的指标,但经前期研究发现,这些不同时间尺度的指标对月干旱识别具有敏感性,但对季节干旱识别的差异不显著。因此,本研究中这3个指标均以3个月尺度的指数进行干旱评估。

表3 典型气象干旱指标的基本原理、等级划分及优缺点

干旱指标	基本原理和方法	等级划分	优缺点
Pa	某时段降水量与同期多年平均降水量之差,占同期多年平均降水量的百分比	无旱 Pa>-40 有旱 Pa≤-40	优点:计算简单 缺点:只考虑降水量未考虑蒸发与下垫面条件,将降水作为正态分布考虑
SPI	假定降水量符合某种概率分布函数,经标准化变换,计算的指数这正值表示比正常偏多,负值表示比正常偏少	无旱 SPI>-0.5 有旱 SPI≤-0.5	优点:可以量化不同时间尺度来反映不同降水短缺程度对不同类型水资源的影响 缺点:假定所有地点旱涝灾害发生频率相同
PDSI	根据土壤水分平衡原理,考虑前期天气条件对后期的影响	无旱 PDSI>--1 有旱 PDSI≤--1	优点:综合考虑了蒸散量、土壤水分供给、径流及地表土壤水分损失 缺点:无法考虑蓄水、降雪和其他供水活动;也无法考虑人类活动对水平衡的影响
SPEI	过标准化潜在蒸散与降水的差值,表征干湿状况偏离常年的程度	无旱 SPEI>-0.5 有旱 SPEI≤-0.5	优点:综合考虑了蒸散、土壤水分平衡,且能够量化标准 缺点:蒸散和水量平衡的计算过程简单
Z	采用Person III的分布概率来处理偏态的降雨资料,用标准化降雨累计频率来划分干旱等级	无旱 Z>-0.5 有旱 Z≤-0.5	优点:可以有效反映水分亏缺或盈余量的大小 缺点:无法考虑下垫面与人类活动影响
CI	标准化降水指数、湿润度指数、长期和短期降水量的综合	无旱 CI>--0.6 有旱 CI≤-0.6	优点:指标既反不同时间尺度降水量气候异常情况,又反映水分亏缺情况

由于各个地市和气象站点几乎是一一对应的,气象站点计算的指标代表了所在地市的干旱情况,因此可以通过指标识别结果与历史资料的对比,将干旱指标识别出历史资料干旱的误差F作为指标适用性的评价依据。

$$F = n / N$$

式中: n 为干旱指标未能识别出历时干旱资料中干旱事件数; N 为干旱资料中总的干旱事件数。

3 指标适用性分析

3.1 空间分析 表4列举了黑龙江3个地市的指标适用性分析结果,表中左上角的分数表示的数字“29/35”表示哈尔滨市1954—2007年历史干旱资料记载春旱35次,PDSI指标识别出其中的29次,表中其他数字类似。由表4可以看出,对于哈尔滨市、齐齐哈尔市与绥化市,SPI与Pa指标的干旱识别准确度最高,由此可判定SPI与Pa在以上3个地市具有较好的适用性。

分析所有数据结果,在31个地市中的23个(标记为23/31)最适宜指标是SPI指数,其次Pa指数为15/31,其他的CI指数为7/31,Z指数为3/31。结果表明在整个东北地区,SPI指数是最适宜的指标,CI、Z、SPEI和PDSI指数的干旱评估效果一般。对于分省的结果分析,辽宁和吉林最适应的指数均

表4 黑龙江省3地市指标识别对比结果

干旱 指标	哈尔滨			齐齐哈尔市			绥化市		
	春旱	夏旱	秋旱	春旱	夏旱	秋旱	春旱	夏旱	秋旱
PDSI	29/35	17/19	6/7	21/24	21/22	2/3	18/24	19/20	4/5
SPI	35/35	19/19	6/7	22/24	21/22	3/3	24/24	20/20	5/5
SPEI	29/35	19/19	6/7	22/24	21/22	2/3	22/24	19/20	4/5
Z	35/35	15/19	5/7	24/24	20/22	2/3	24/24	19/20	3/5
Pa	35/35	19/19	6/7	24/24	22/22	3/3	24/24	20/20	4/5
CI	34/35	14/19	5/7	24/24	22/22	2/3	24/24	20/20	5/5

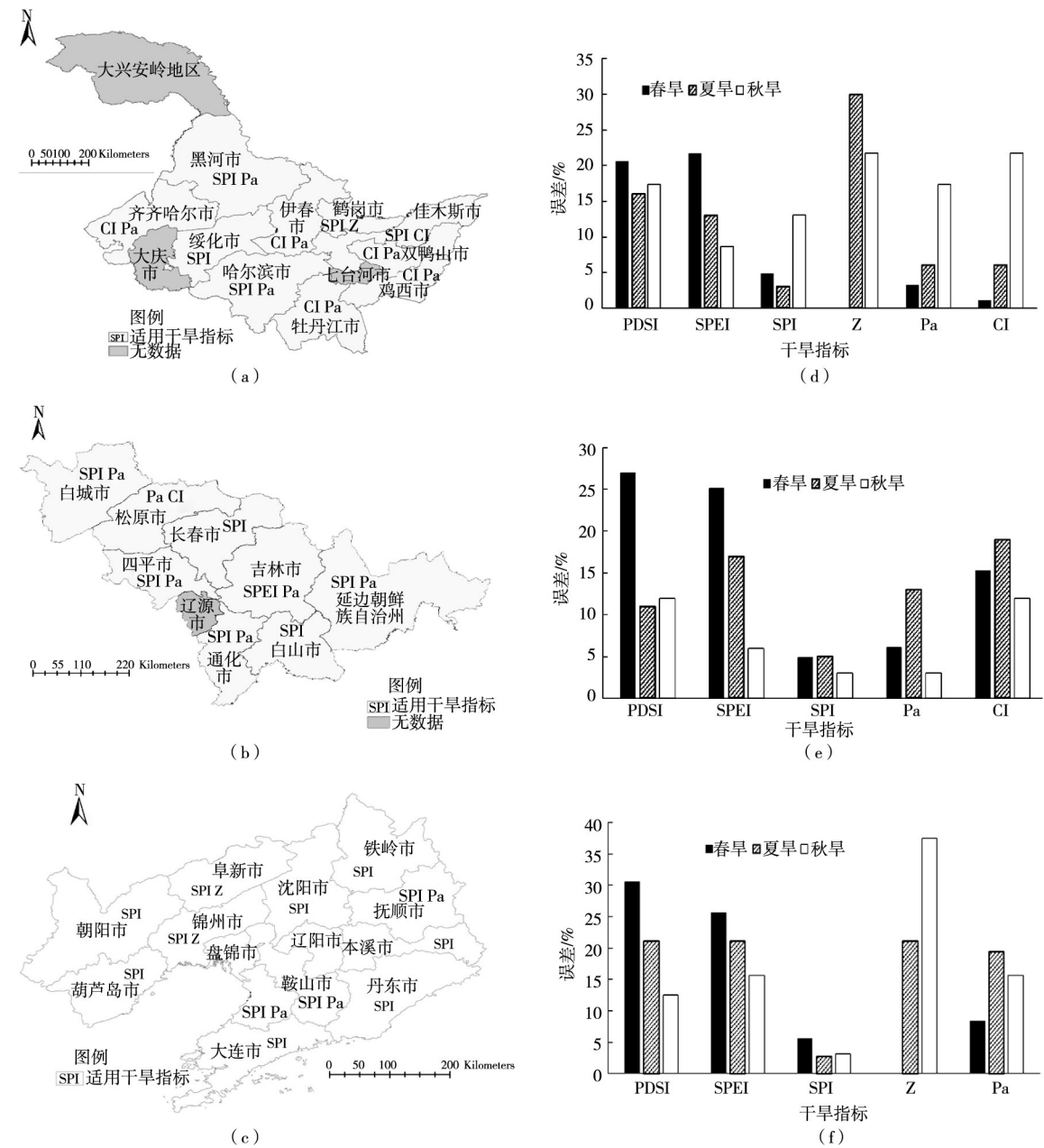


图1 东北三省干旱指标适用性分析结果，(a)、(b)、(c)分别为辽宁、吉林和黑龙江的适用性指标分布图，(d)、(e)、(f)依次为三省各指标不同季节的识别误差

是SPI，而黑龙江最适宜的指数是Pa，其次是CI和SPI。对各干旱指标在不同地区的适用性进行分析。图1中(a)、(b)、(c)所示是辽宁、吉林和黑龙江三省最适宜的干旱指标分布图。

3.2 季节分析 各干旱指标对不同季节干旱的识别结果具有较大差异。图1中(d)、(e)、(f)的柱状图依次为辽宁、吉林和黑龙江三省各指标不同季节的识别误差。

上述3个图中,部分指标缺失了某个季节的误差情况(只有两个柱体),即在该季节某指标识别误差为零。这种情况的出现原因是因为统计样本少。分析发现黑龙江的PDSI、SPEI、SPI和Pa指标都准确的识别出了仅有几次秋旱。这是因为整个东北地区秋旱只有116次,平均每年只有两个地市发生,黑龙江只有17次。因此,这些指标能够识别出所有秋旱。

分析具体数据结果发现,Z指数在吉林的干旱判别结果每年都会发生冬旱及春旱,而夏旱及秋旱却不会发生;CI在辽宁判别结果几乎将每年10份发生干旱,其他时间干旱却少有发生,这与实际情况不符。由此判定Z指数在吉林省适用性较差,而CI在辽宁省适用性较差。分析CI指数对辽宁气象数据的判别结果发现将,这是因为CI指数是1个月、3个月SPI指数和1个月相对湿润系数的加权,本研究中根据《气象干旱等级标准(GBT 20481—2006)》中的建议值,依次赋予0.4,0.4和0.8的权重。由于这种权重赋予缺乏理论依据,导致指标受人为赋予的权重影响较大,干旱识别的结果存在很大的不确定性。

通过对季节干旱的识别进行分析,得出各指标的适应性。结果表明,SPI指数的效果最好,各季节的识别误差都较小,普遍在6%以内。其次是Pa指数,误差范围在5%~20%,但普遍夏旱误差高于春旱,这是因为夏季降雨比较集中,导致降雨距平指数变幅很大,误差高于春旱。对于PDSI和SPEI指数,其在3个省份的误差均较高,在10%~30%之间。虽然PDSI和SPEI指数同时考虑了降雨和温度因素,但对于东北温带季风气候地区,整体温度不高,由温度引起的干旱效应十分有限,降雨减少仍是干旱的主导因素。因此,PDSI和SPEI指数考虑温度因素反而增加了干旱识别的误差。因此,PDSI和SPEI在温带和寒温带地区不具有较好的适用性。

4 结论

本研究通过对标准化降雨指数(SPI)、标准化降雨蒸散指数(SPEI)、帕尔默干旱指数(PDSI)、降雨Z指数(Z)、降雨距平百分率(Pa)、综合气象干旱指数(CI)等6种指标在东北三省不同地市、不同季节的干旱监测进行适用性分析。结果表明:SPI指数具有最好的适用性,其次是Pa指数。辽宁和吉林最适宜的指标是SPI指数,黑龙江省最适宜的是Pa指数。SPI指数在各个季节都具有良好的适用性,而Pa指数在降雨量较小的春季和秋季的适用性高于降雨量较大的夏季,其中Z指数在吉林省适用性较差,而CI在辽宁省适用性较差不利于大范围干旱监测。

影响干旱指标适用性高低的因素除了指标自身的理论机制外,还与地区的气候、地理、土壤,甚至农业耕作方式等有关。东北地区年均温度不高,干旱主要由降雨偏少引起,因此充分考虑降雨因素的干旱指标,如SPI和Pa指数,更具适用性。Z指数虽然也只考虑降雨因素,但受降雨量的影响较大,干旱识别误差较高。CI指数需要设置权重系数,不适用于大范围统一的干旱监测。

参 考 文 献:

- [1] Mishra A K, V P Singh. A review of drought concepts[J]. Journal of Hydrology, 2010, 391(1/2): 202-216.
- [2] Richard R, J Heim. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, 83(8): 1149-1165.
- [3] Wilhite D A. Drought planning: A process for state government[J]. Water Resources Bulletin, 1991, 27(1): 19-38.
- [4] 王劲松,郭江勇,周跃武,等.干旱指标研究的进展与展望[J].干旱区地理,2007,30(1): 60-65.
- [5] Dai A. Drought under global warming: a review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2011, 2(1): 45-65.

- [6] 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.
- [7] 谢五三, 田红. 五种干旱指标在安徽省应用研究[J]. 气象, 2011, 37(4): 503-507.
- [8] 马海娇, 严登华, 翁白沙, 等. 典型干旱指数在滦河流域的适用性评价[J]. 干旱区研究, 2013, 30(4): 728-734.
- [9] 付丽娟, 曹杰, 德勒格日玛. 三种气象干旱指标在内蒙古地区的适用性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2): 108-113.
- [10] 潘新华, 吴立愿, 韦洁, 等. 典型干旱指标在广西的适用性分析及改进[J]. 人民珠江, 2014, 35(3): 9-12.
- [11] 黄中艳, 钟楚, 张明达, 等. 若干干旱指标在云南大旱年农业干旱监测评估中的适用性分析[J]. 中国农业气象, 2013, 34(2): 221-22.
- [12] 国家防汛抗旱总指挥部办公室, 中国水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [13] 张世法, 苏逸深, 宋德敦. 中国历史干旱[D]. 南京: 河海大学出版社, 2009.
- [14] Palmer W C. Meteorological Drought[R]. U. S. department of commerce Weather Bureau Research Paper, 1965.
- [15] McKee T B, N J Doesken. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. 1993.
- [16] Vicente-Serrano S M, B S, López-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.
- [17] 包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等. 基于CI指数的江苏省近50年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 599-608.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 气象干旱等级: GBT 20481[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

Applicability analysis of typical meteorological drought indices in Northeast China

WANG Yaxu^{1, 2}, SUN Hongquan^{1, 2}, LÜ Juan^{1, 2}, SU Zhicheng^{1, 2}

(1. Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The applicability analysis of drought index is an important prerequisite for the accurate monitoring of drought. The meteorological drought index is more accurate and more widely applied than the hydrological and agricultural drought indices. Northeast China is one of the most important grain producing zones in China, and it is also the drought prone area. The applicability analysis carried out for the typical meteorological drought indices in Northeast China has important practical significance and application value. This study used monthly precipitation and temperature observation of 78 stations in Northeast China from 1954 to 2013 to calculate the standardized precipitation index, standardized precipitation evaporation index, palmer drought index, Z index, precipitation anomaly percentage and integrated meteorological drought index. Then the recognition accuracy, which was defined as the criterion of applicability of drought indices, was computed by comparing the seasonal drought identification results with the historical drought records for each index. The results of drought indices applicability in different areas and different seasons show that the standard precipitation index has good applicability for all seasons in Northeast China, and the precipitation anomaly is more suitable for Jilin and Heilongjiang, especially in spring and autumn.

Key words: Meteorological drought; Drought indices; Applicability; Northeast China

(责任编辑: 祁伟)