曲学斌,杨钦宇,王慧清,等. 基于 MCI 的内蒙古气象干旱强度特征分析[J]. 气象与环境科学,2019,42(4):47-54. Qu Xuebin,Yang Qingyu,Wang Huiqing, et al. Characteristics of Meteorological Drought Intensity in Inner Mongolia Based on MCI[J]. Meteorological and Environmental Sciences,2019,42(4):47-54.

doi:10.16765/j.cnki.1673-7148.2019.04.008

# 基于 MCI 的内蒙古气象干旱强度特征分析

# 曲学斌<sup>1,2</sup>,杨钦宇<sup>3</sup>,王慧清<sup>2</sup>,曹庆国<sup>2</sup>,林 聪<sup>2</sup>

(1.中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室,兰州 730020; 2. 呼伦贝尔市气象局,内蒙古 呼伦贝尔 021008;
3. 内蒙古巴彦淖尔市农业气象试验站,内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘 要:根据新修订的《气象干旱等级》(GB/T 20481-2017)国家标准,计算了内蒙古 82 个气象站1962-2017 年4月至10月逐日气象干旱综合指数(MCI),利用相关性分析、M-K 检验、EOF 分解、Morlet 小波等方法,分析了内 蒙古不同区域干旱强度时空分布及变化特征,为开展基于 MCI 的气象干旱监测业务提供科学依据。结果表明:内 蒙古地区 MCI 的监测结果与农业旱灾综合减产成数(C指标)具有较高的相关性。内蒙古春季干旱强度普遍较重, 夏季干旱强度受地形影响明显,阴山以北、贺兰山以西干旱强度较重,秋季干旱强度相对较轻。从干旱的年际变化 来看,春季干旱强度有减弱趋势,秋季有增强趋势,夏季干旱强度与年平均干旱强度无明显变化。EOF 分析的前三 个主要模态为全区一致、东西部相反和中部与东西部相反,其贡献率分别为 55.2%、8.2%和 5.0%。春季和夏季干 旱强度的主要变化周期为 3~4 a 和 6~7 a,秋季除短周期外还存在 17~19 a 的长周期,各季节在1995-2005年间还 存在显著的 1~2 a 短周期变化,说明该时期内蒙古地区年际间的旱涝变化剧烈。

关键词:干旱;MCI;内蒙古;时空分布

中图分类号: P49 文献标识码: A 文章编号: 1673-7148(2019)04-0047-08

# 引 言

干旱是在一定地区一段时间内近地面生态系统 和社会经济水分缺乏的一种自然灾害。全世界有 120多个国家受到不同程度的干旱威胁<sup>[1-2]</sup>。内蒙 古地区是我国干旱的多发区,1951-2006年内蒙古 地区累计旱灾成灾面积达4.044×10<sup>5</sup>km<sup>2</sup>,在各省市 成灾面积排名中位列第4位<sup>[3]</sup>。内蒙古地区的干旱 具有出现次数多、分布范围广、影响程度大等特点, 严重威胁当地生态系统平衡和经济社会发展。

干旱指数是干旱定量监测评估的重要手段之 一<sup>[4-6]</sup>。长期以来,人们针对不同的研究对象和区 域建立了近百种干旱指数<sup>[7-10]</sup>。张苗苗<sup>[11]</sup>利用标 准化降水指数(SPI)对晋北地区旱涝变化分析后发 现该地区缺水状况有所缓解。李明等<sup>[12]</sup>利用标准 化降水蒸散指数(SPEI)对东北地区干旱特征分析 表明东北地区存在明显干旱化趋势。国家气候中心 在长期的业务服务中研制了具有普适性的综合气象 干旱指数(CI),并以此建立全国气象干旱监测业务 系统。刘可群等<sup>[13]</sup>利用 CI 对湖北干旱变化特征分 析结果表明,湖北干旱频率增加明显,但大旱年份呈 减少趋势。米红波等<sup>[14]</sup>利用 CI 对湘西自治州干旱 变化特征分析表明,该地区干旱以夏、秋干旱为主。 CI 在近几年重大干旱事件的监测业务中也暴露出 干旱发展过程中等级异常跳变、严重干旱事件反应 偏轻等问题<sup>[15]</sup>。因此国家气候中心在大量调研和 对比检验的基础上,修订了《气象干旱等级》国家 标准<sup>[16]</sup>,改进算法并研制气象干旱综合指数(MCI)法。

收稿日期:2018-06-01;修订日期:2019-03-26

基金项目:干旱气象科学研究基金(IAM201706);中国气象局预报员专项(CMAYBY2018-013);内蒙古气象局科技创新项目(nmqxkjcx201702) 作者简介:曲学斌(1988-),男,内蒙古呼伦贝尔人,工程师,硕士,从事应用气象等方面的研究. E-mail:qxbtd@qq.com

本文利用最新发布的 MCI 法,统计内蒙古 82 个气象站1962-2017年逐日 MCI 值,建立内蒙古地 区 MCI 历史数据集,为开展 MCI 法气象干旱监测提 供历史数据支撑,并以此分析内蒙古气象干旱强度 的时空分布及变化特征,为政府防灾减灾和生态环 境保护提供科学依据。

# 1 数据与方法

# 1.1 研究区域

内蒙古地区位于东亚中纬度内陆(97°12′-126° 04′E、37°24′-53°23′N),地形狭长,全区土地面积约 为1.18×10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>,占全国总面积的12.1%,其中分 布着森林、草原、农田、沙漠等多种生态系统(图1)。 由于内蒙古东部有大兴安岭、燕山和太行山脉,阻挡 太平洋水汽从大气低层向本区域的输送,西南方又 有青藏高原,阻挡印度洋向本区域输送水汽,因此内 蒙古地区具有普遍干燥少雨的气候特征,仅大兴安 岭以西为半湿润气候区,向西逐步过渡到半干旱和 干旱气候区,东西部的气候差异明显<sup>[17]</sup>。



#### 1.2 数据来源

气象数据通过气象数据统一服务接口(CIMISS) 获取,包括逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水 量、平均风速、平均水汽压和气象台站地理位置信息, 该数据均通过国家气象中心的均一化处理,并将年 缺测数据超过 3%的台站剔除,最终选取内蒙古境 内 82 个气象监测站数据进行研究。干旱灾害所造 成的农作物损失数据来自农业农村部种植业管理司 (http://www.zzys.goa.cn/),包括内蒙古地区1962-2016年逐年因干旱造成的受灾、成灾和绝收面积 (单位:万公倾,下同)。

#### 1.3 分析方法

1.3.1 气象干旱综合指数(MCI)

根据最新修订的《气象干旱等级》国家标准,计 算得到1962—2017年逐日 MCI,其公式为<sup>[18]</sup>

 $MCI = K_a \times (a \times SPIW_{60} + b \times MI_{30} + c \times SPI_{90} + d \times SPI_{150})$ (1)

式中,SPIW 60 为近 60 d标准化权重降水指数,通过 逐日降水量加权累积后利用与标准化降水指数相同 的方式进行标准化处理; MI30 为近 30 d 相对湿润度 指数,利用降水量与潜在蒸散量之差除以潜在蒸散 量计算得到,其中潜在蒸散量利用 FAO Penman-Monteith 方法<sup>[19]</sup>计算; SPI<sub>90</sub>、SPI<sub>150</sub>分别为近 90 d 和 近150 d标准化降水指数,处理方式为先计算某时 段内降水量的 Γ 分布概率,再进行标准化处理获 得; a、b、c、d 分别为 SPIW<sub>60</sub>、MI<sub>30</sub>、SPI<sub>80</sub> 和 SPI<sub>150</sub> 的 权重系数,中国北方地区的取值分别为 0.3、0.5、 0.3和0.2;K。为季节调节系数,根据内蒙古气象干 旱业务需求和植物生长特征确定的逐月取值,见表 1。由K。取值可以看出, MCI 只针对内蒙古4-10月 的气象干旱进行监测,其余月份计算结果为0,因此 本次研究的季节划分标准为4-5月为春季,6-8月为 夏季,9-10月为秋季,不分析冬季干旱强度。

根据国标干旱等级划分,当逐日 MCI ≤ -0.5 时,则确定出现轻旱及以上的干旱,某时段内的干旱 强度以该时段轻旱及以上干旱日的 MCI 累计值(以 下称 MCI 值)来表示,该时段的 MCI 值越小,干旱强 度也就越强。

表 1 内蒙古不同月份调节系数 K<sub>a</sub> 取值表

| 月份      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $K_a$ 值 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 0.9 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |

# 1.3.2 其他方法

MCI在内蒙古地区的适用性分析采用年 MCI 与农业旱灾综合减产成数(C指标)进行对比分析, 该指标由国家防汛抗旱指挥部办公室于 2006 年发 布,其表达式为

 $C = I_3 \times 90\% + (I_2 - I_3) \times 55\% + (I_1 - I_2) \times 20\%$  (2) 其中, C为干旱造成的综合减产比例,  $I_1 \setminus I_2 \setminus I_3$ 分别 为干旱造成的受灾面积、成灾面积、绝收面积与播种 面积的比值。C值越大,表明干旱灾害对农业的影响也越严重<sup>[20]</sup>。

干旱强度的空间分布利用 ArcGIS 绘制空间分 布图并进行分析。时间变化分析采用世界气象组织 推荐的 M-K 非参数检验法,其不需要样本遵循一定 的分布也不受少数异常值干扰,在气象要素时间变 化分析中的优势显著<sup>[21]</sup>。时空综合分析采用经验 正交函数分析法(EOF),可以在不损失原有信息的 前提下,提取主要数据的特征量<sup>[22]</sup>。周期变化采用 Morlet 小波分析,可以显示气候序列在不同尺度上 的相对贡献,已被广泛应用于现代气候分析中<sup>[23]</sup>。

### 2 结果与分析

# 2.1 MCI的适用性分析

1962-2016年内蒙古地区每年的 MCI 平均值 与 *C* 指标呈现极显著的负相关关系,相关系数为 -0.373(*P*<0.01)。MCI 与 *C* 指标反映出的严重干 旱年和轻旱年基本一致(图 2),*C* 指标较高的 1966、



1997、1999、2000、2001 和 2009 年对应的 MCI 值分 别为-91.4、-138.8、-151.3、-190.9、-244.4 和 -99.3,*C* 指标较低的 1979、1990、1998、2001、2008 和 2012 年对应的 MCI 值分别为-11.1、-9.0、-8.7、 -8.5、-2.1 和-1.2。

对比《中国灾害大典(内蒙古卷)》中1962-2000 年每年的干旱灾情与当年 MCI 的空间分布情况(部 分见表 2)可见, MCI 的空间分布与实际干旱灾害的 发生区域基本一致, MCI 可以较准确地反映出内蒙 古干旱灾害发生的时间和区域。



图 2 1962-2016年内蒙古地区 MCI 与 C 指标的年变化对比(a) 及散点图(b)

| 表 2 | 《中国灾害大典( | 内蒙古卷) | 》中记录的1962- | -2000年干旱过 | t程与 MCI | 监测对比(节选) |
|-----|----------|-------|------------|-----------|---------|----------|
|-----|----------|-------|------------|-----------|---------|----------|

| 年份   | 干旱过程  | MCI 的空间分布  |
|------|---|--|
| 1991 | 春季呼伦贝尔市出现旱情,入夏后缓解;严重夏旱造成巴彦淖尔市<br>山区有2.5万公顷农田绝收、乌兰察布市、鄂尔多斯市粮食减产。                 | 年 MCI<-10 的低值区位于呼伦贝尔市中西部、<br>鄂尔多斯市和巴彦淖尔市交界处、包头市和阿拉善<br>盟西部,最低值为-57.8,位于呼伦贝尔市陈巴尔<br>虎旗。 |
| 1992 | 呼伦贝尔市大部、兴安盟东北部出现春夏连旱,40多万公顷农田遭<br>受严重旱灾。  | 年 MCI<-150 的低值区位于呼伦贝尔市中东部、兴安盟北部,最低值为-174.2,位于呼伦贝尔市阿荣旗。                                 |
| 1993 | 中西部牧区因春旱影响,牧草返青推迟,巴彦淖尔市、鄂尔多斯市、<br>乌兰察布市分别有百万头或数百万头牲畜缺水缺草,巴彦淖尔市死亡牲<br>畜4.8万头(只)。 | 年 MCI<-150 的低值区位于呼伦贝尔市西部、<br>锡林郭勒盟以西至阿拉善以东的地区,最低值为<br>-225.2,位于巴彦淖尔市临河区。               |
| 1994 | 鄂尔多斯市东北部、呼和浩特市、包头市、赤峰市北部、通辽市北部、<br>兴安盟东北部和呼伦贝尔市东南部出现干旱,乌兰察布市因旱少播 66.7<br>万公顷。   | 年 MCI<-150 的低值区与 1993 年相反,主要位于锡林郭勒盟中部、呼伦贝尔市东南部、赤峰市和通<br>辽市北部,最低值为-221.9,位于赤峰巴林右旗。      |
| 1995 | 除呼伦贝尔市和兴安盟外均出现春旱、全区东西部又分别出现夏旱<br>和秋吊,再加上秋霜降临早,农业严重减产,其中赤峰市和乌兰察布市灾<br>情严重。       | 年 MCI<-100 的低值区主要位于鄂尔多斯市、<br>乌兰察布市、呼和浩特市,最低值为-115.2,位于乌<br>兰察布市凉城县。                    |

以 1997 年乌兰察布市四子王旗和 2017 年呼伦 贝尔市新右旗干旱过程为例,对比 MCI 与降水量的 日变化,如图 3 所示。在两次干旱过程的发展阶段, 降水持续偏少,MCI 的值逐渐降低。在 5 月 1 日和 6 月 1 日月份转换时,MCI 在数值上存在小幅跳变, 幅度最大为 0.49,但等级未出现跳变。7 月干旱已 达特旱后,出现较大量级降水,MCI 的值迅速上升, 而在干旱缓解至中旱或轻旱后,MCI 对降水的敏感 程度有所下降。



图 3 1997 年4-9月四子王旗(a)和 2017 年4-9月新右旗(b) MCI 与降水量逐日变化图

#### 2.2 干旱强度的空间分布特征

内蒙古地区各台站 MCI 的年均值为-88.4~ -47.8(图 4a),呼伦贝尔市鄂伦春旗的 MCI 值最 大,阿拉善盟雅布赖的 MCI 值最小。阿拉善盟西北 部 MCI 的年平均值在-85 以下,阿拉善盟大部、巴 彦淖尔市、鄂尔多斯市西部、包头市北部、锡林郭勒 盟西北部和呼伦贝尔市新巴尔虎右旗 MCI 的年均 值为-85~-75,鄂尔多斯市东部、呼和浩特市、包头 市南部、乌兰察布市、锡林郭勒盟东部、赤峰市中北 部、通辽市、兴安盟南部和呼伦贝尔市西部 MCI 的 年均值为-75~-65,赤峰市南部、兴安盟北部和呼 伦贝尔市中东部 MCI 的年均值在-65 以上。内蒙 古地区年干旱强度基本呈现出由东北向西南依次加 重的分布特征。

内蒙古春季 MCI 的均值为-23.7~-16.7(图 4b),地区间的差异较小,易出现全区范围的干旱。 MCI 春季均值的最小值中心分散,其中阿拉善盟西 部、锡林郭勒盟北部和通辽市南部等地均存在 MCI 春季均值小于-22 的区域。夏季 MCI 的均值为 -52.5~-7.9(图4c),区域干旱强度的空间差异加大。秋季 MCI 的均值为-14.1~-3.5(见图4d),干旱强度整体偏弱,仅阿拉善盟中部和锡林郭勒盟 MCI 秋季均值存在小于-13 的区域。

内蒙古春季冷暖空气活动频繁,温度起伏较大, 常有大风、沙尘天气出现。此时西太平洋副热带高 压偏南,水汽难以输送至内蒙古地区,全区干旱一致 偏重。夏季,随着西太平洋副热带高压第二、三次北 跳,中国的雨带北移,内蒙古地区的降水开始增多, 但由于地形影响,降水分布极不均匀:阴山山脉和贺 兰山呈"人"字形分布阻挡了印度洋水汽向北输送, 造成阿拉善盟、鄂尔多斯西部、巴彦淖尔市、包头市 北部、锡林郭勒盟西北部干旱强度较重;大兴安岭呈 东北西南走向,阻挡太平洋水汽向西北输送,造成呼 伦贝尔市西北部干旱强度偏重。秋季由于西太平洋 副热带高压南撤,内蒙古地区受变性的西伯利亚单 一气团控制,降水逐渐减少,气温下降迅速,但此时 牧草枯黄,农作物收获,干旱对农牧业的影响也显著 降低。



图 4 1962-2017年内蒙古地区年(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)平均 MCI 的空间分布

#### 2.3 干旱强度的时间变化特征

内蒙古地区干旱强度年际波动较大,MCI年平均值在-244.4~-1.2变化,其中2001年的最小,2012年的最大。内蒙古地区MCI春季均值为-64.4~0.0,2001年的最小,2008年的最大;夏季MCI均值为-141.3~0.0,2001年的最小,2012年的最大;秋季MCI均值为-45.0~0.0,2001年最小,2012年的最大。内蒙古地区年、春季、夏季、秋季MCI均值的气候倾向率分别为0.17/10a、1.13/10a、0.21/10a和-1.11/10a,年干旱强度和夏季干旱强度略有减弱趋势,春季干旱强度的减弱趋势较夏季和年干旱强度明显,秋季干旱强度有增强趋势,但各时段干旱强度的年际变化均未通过0.05水平的显著性检验。

利用 M-K 方法对内蒙古地区年、季干旱强度进行突变检验(图 5),其中 UF 为时间顺序统计曲线、

UB为时间逆序统计曲线。年平均 MCI 的 UF、UB 线在 1970 年相交,之后 UF 线持续上升,并在 1985 年通过 0.05 水平的显著性检验,可见在1962-1970 年,内蒙古年干旱强度呈现波动状态,1970 年出现 显著减弱突变。1992 年后 UF 线又开始呈下降趋 势,干旱强度又开始增加,但未达到显著突变。春季 平均 MCI 的 UF、UB 线在 1977 年出现交点,UF 线于 1990 年通过 0.05 水平的临界线,干旱强度减弱的 突变达到显著,1992 年之后 UF 线转为下降趋势,春 季干旱强度有所加强。夏季平均 MCI 的 UF、UB 线 与年平均 MCI 的 UF、UB 线变化基本一致,均在 1970 年出现显著的减弱突变。秋季平均 MCI 的 UF、UB 线在 1963 年相交,并在 1991 年通过 0.05 水 平的显著性检验,UF 线在 0.05 的检验临界线上下 小幅波动后于 1997 年开始下降。





#### 2.4 干旱强度的时空特征综合分析

利用 EOF 对内蒙古地区各站年平均 MCI 的距 平值分析结果(图 6)表明,前 3 个特征向量的累积 方差贡献率为 68.3%,第 4 特征向量以后各项量的 方差贡献率均小于 5.0%。第 1 特征向量所占的比 例最大,方差贡献率为 55.2%,全内蒙古均为正值, 其大值区位于锡林郭勒盟西北部、巴彦淖尔市东北 部、包头市北部等阴山山脉以北的地区,在乌兰察布 市东部、呼和浩特市东部、通辽西部也有零星大值中 心存在。从时间系数可以看出,1978-1992年的为 正值,内蒙古地区的干旱强度较轻,1993-2017年时 间系数波动增大,其中2000-2001年时间系数最低, 全区均出现较重强度的干旱。第 2 特征向量的方差 贡献率为 8.2%,呼伦贝尔市、兴安盟、赤峰市、通辽 市、锡林郭勒盟中北部为负值,其余地区为正值。主要反映了内蒙古地区东西相反的干旱强度变化特征,负值的大值区位于大兴安岭及大兴安岭东部的呼伦贝尔市中东部和兴安盟,正值中心主要位于巴彦淖尔市、鄂尔多斯市和包头市。2017年第2特征向量的时间系数最大,可以准确反映出2017年内蒙古东部地区出现的严重区域性干旱,东西部的干旱强度存在较大差异。第3特征向量的方差贡献率为5.0%,内蒙古地区中部和阿拉善盟西部为负值区,其余地区为正值,主要反映出中部与东西部相反的变化特征。第3特征向量的时间系数最大出现在1988年,历史灾情显示,1988年内蒙古东部偏南地区出现严重的春夏连旱,赤峰市和通辽市受旱农田成灾面积为8.97×10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>。



图 6 1962--2017年内蒙古地区年干旱强度 EOF 分解的前 3 个特征向量分布 (a-c) 及对应时间系数 (d-f)

## 2.5 干旱强度的周期变化分析

内蒙古地区春、夏、秋季的 Morlet 小波实部和功 率谱的红噪声检验显示如图 7 所示。春季干旱强度 在1962-1980 年存在 3~4 a 的变化周期,经历 "减少一增加"6 次振荡;1980-2010年变化周期则以 6~7 a 更为显著,经历 5 次振荡;2010 年以后的变化 周期又缩短为 3~4 a。夏季干旱强度在1962-1975 年存在 3~4 a 的变化周期,经历 4 次振荡;1975-2017年以 6~7 a 周期变化为主,在1990-2015年同 时存在 4~5 a 的周期变化。秋季干旱强度的 17~ 19 a 长周期变化通过了显著性检验,研究期内共经 历了 3 次振荡。1962-1970年存在 2~3 a 的周期变 化,1970-1990年的短周期变化并不明显,1990-2017年以5~6 a 和8~9 a 的周期变化较为显著。分析逐年 Morlet 小波的功率谱还发现,内蒙古地区各季节干旱强度在1995-2005年均存在明显的1~2 a 周期变化,说明此段时期的气象干旱变化周期极短, 年际间的旱涝变化剧烈。

从小波实部图中还可以看出,到 2017 年止,春 季干旱强度 3~4 a 周期负值区刚刚开始,夏季干旱 强度 6~7 a 周期负值区和秋季干旱强度 8~9 a 周期 负值区即将闭合。由此可知,未来一段时期,内蒙古 地区春季干旱强度存在加重趋势,夏季和秋季的干 旱强度将逐渐减轻。



图 7 1962-2017年内蒙古地区春、夏、秋季的小波实部(a-c)、小波功率谱及红噪声检验(d-f)

## 3 结 论

(1) MCI 的监测结果与 C 指标、《中国灾害大典 (内蒙古卷)》中记录的干旱灾害发生区域基本一 致,MCI在干旱发展阶段干旱等级跳变较少,对干旱 期间的降水敏感,在内蒙古地区具有较高的适用性。 内蒙古地区年干旱强度呈现由东北向西南依次加重 的分布特征。春季干旱强度普遍较重,地区间差异 较小;夏季受地形和水汽输送距离影响,地区间干旱 强度差异较大,阴山山脉以北、贺兰山以西及大兴安 岭以西地区干旱强度较重;秋季干旱强度普遍较轻, 同时也符合秋季内蒙古农牧业生产的基本特点。

(2)内蒙古地区春季干旱强度有减弱趋势,秋季干旱强度有增强趋势,年干旱强度与夏季干旱强 度略有减弱,但不明显。年干旱强度在1970年出现 显著的减弱突变,但在1992年之后干旱强度有加强 趋势。各季节的干旱强度突变与年干旱强度的 相似。

(3)通过 EOF 分析的内蒙古地区干旱强度分布 主要呈现出全区一致、东西部相反和中部与东西部 相反的三种分布模态,其贡献率分别为 55.2%, 8.2%和 5.0%。东西部相反的典型年份为 2017 年 (内蒙古东部地区干旱),中部与东西部反向的典型 年份为 1988 年(中部赤峰市、通辽市严重干旱)。

(4)内蒙古地区春季和夏季干旱强度的主要变 化周期为 3~4 a 和 6~7 a,秋季干旱强度除短周期 外还存在 17~19 a 的长周期。1995—2005年间各季 节 1~2 a 的短周期变化非常明显,说明该时期内蒙 古地区年际间的旱涝变化剧烈。

#### 4 讨 论

国际上一般将干旱划分为气象干旱、农业干旱、 水文干旱和社会经济干旱。气象干旱主要反映了气 象要素的变化特征,而农业干旱、水文干旱和社会经 济干旱则主要反映气象干旱在不同领域中的影响。 由于气象干旱与其他干旱之间存在明显的传递过 程,所以原则上可以根据气象干旱监测结果和不同 类型干旱间的传递规律对其他类型干旱进行早期预 警<sup>[24]</sup>。气象干旱是干旱灾害发生的必要条件,但并 不是每次气象干旱出现都会最终致灾。对于农业干 旱而言,防灾减灾设施的完善、种植结构调整、灾情 统计方法等都会对灾害损失数据造成影响,因此气 象干旱指数的监测结果与干旱损失之间并非严格的 一一对应关系。

目前,国家气候中心逐日在官网上发布全国逐 日 MCI 监测产品,业务已得到了广泛认可,但每种 气象干旱指数都有它的局限性,很多问题只能在长 期的业务应用中发现,并根据这些问题进行改进。 对于内蒙古来说,东西跨度很大,气候状况也存在较 大差异,但不同地区使用不同的气象干旱指数又难 以进行空间对比,且在不同气象干旱指数监测的边 界上容易出现干旱等级的异常跳变,难以评估全区 气象干旱。若默认参数的 MCI 算法与某地区实际 气候与旱情差异较大,可开展 MCI 算法的本地化研 究,调整 MCI 的季节调节系数或不同权重系数,以 满足内蒙古东西部不同气象干旱监测需求。

#### 参考文献

- [1]张书余.干旱气象学[M].北京:气象出版社,2008:8-11.
- [2]胡顺起,草张驰,刘婷婷.7种气象干旱指数的中国区域适应性 [J].气象与环境科学,2017,40(4):121-125.
- [3]张强,潘学标,马柱国.干旱[M].北京:气象出版社,2009:30-37.
- [4] 胡彩虹,赵留香,王艺璇.气象、农业和水文干旱之间关联性分析[J].气象与环境科学,2016,39(4):1-6.
- [5]房稳静,张雪芬,赵龙,等.河南省冬小麦干旱灾害的空间分布研究[J].气象与环境科学,2007,30(2):61-63.
- [6]申泽峥,颜玉倩,胡毅.河北省南部干旱特征及其对冬小麦产量 的影响分析[J].气象与环境科学,2016,39(2):76-81.
- [7]杨庆,李明星,郑子彦,等.7种气象干旱指数的中国区域适应性 [J].中国科学(地球科学),2017,47(3):337-353.
- [8] 冯东蕾,程志刚,吴琼,等. 基于 MCI 指数的东北地区 1961-2014 年 气象干旱特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(10):118-124.
- [9]成林,张广周,陈怀亮.华北冬小麦—夏玉米两熟区干旱特征分析[J].气象与环境科学,2014,37(4):8-13.
- [10]竹磊磊,常军,张善强.河南夏季干旱气候特征分析[J].气象与 环境科学,2012,35(1):49-55.
- [11] 张苗苗. 基于 SPI 的近 51 a 晋北地区旱涝变化及干旱时间时空 特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(3):138-144.
- [12] 李明, 王贵文, 张莲芝. 基于 SPEI 的中国东北地区干旱分区及 其气候特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(6):65-70.
- [13] 刘可群,李仁东,刘志雄,等. 基于 CI 指数的湖北干旱及其变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(10):1274-1280.
- [14]米红波,谭桂容,彭洁,等.基于 CI 指数的湘西自治州干旱变化 特征[J].干旱气象,2016,34(2):223-233.
- [15]曲学斌,姚振东. 呼伦贝尔市新旧综合气象干旱指数应用对比[J]. 气象科技,2016,44(2):325-330.
- [16]张存杰,刘海波,宋艳玲,等. GB/T 20481-2017 气象干旱等级 [S].北京:中国标准出版社,2017.
- [17] 沈建国,李喜仓.中国气象灾害大典(内蒙古卷)[M].北京:气象出版社,2008:8-12.
- [18] 成青燕,高晓清,林纾,等.基于 MCI 指标的甘肃省近 50 年干旱 特征分析[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):211-218.
- [19]曲学斌.基于 CI 的呼伦贝尔市 40 年生长季气象干旱强度分析 [J]. 气象科技,2015,43(1): 103-107.
- [20]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.
- [21] 卢珊,张宏芳,屈直,等.1961-2015 年陕西省不同等级降水事件 变化特征[J]. 气象与环境科学,2018,41(2):77-85.
- [22]吴琼,赵春雨,王大钧,等.1951-2014年辽宁省气象干旱时空特 征分析[J].干旱区资源与环境,2016,30(3):151-157.

[23]魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].2版.北京:气象出版社,2007:99-105.

[24] 张强,张良,崔显成,等.干旱监测与评价技术的发展及其科学 挑战[J].地球科学进展,2011,26(7):763-778.

# Characteristics of Meteorological Drought Intensity in Inner Mongolia Based on MCI

Qu Xuebin<sup>1,2</sup>, Yang Qingyu<sup>3</sup>, Wang Huiqing<sup>2</sup>, Cao Qingguo<sup>2</sup>, Lin Cong<sup>2</sup>

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology of CMA/Gansu Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing

Disaster/Key Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China;

2. Hulun Buir Meteorological Bureau, Hulun Buir 021008, China;

3. Bayannaoer Agrometeorological Test Station, Bayannaoer 015000, China)

Abstract: According to the lately revised national standard of Meteorological Drought Grade (GB/T 20481-2017), the daily MCI (meteorological drought comprehensive index) of 82 meteorological stations between April and October in 1962-2017 in Inner Mongolia was calculated. The spatial and temporal distribution and variation of drought intensity in different regions of Inner Mongolia were analyzed by using the methods of M-K test, EOF decomposition and Morlet wavelet, which provides scientific basis for developing meteorological drought monitoring operation based on MCI. The results show that there is a high correlation between MCI in Inner Mongolia and the comprehensive yield reduction (C index) of agricultural drought. The drought intensity in Inner Mongolia is heavier in spring, lighter in autumn and obviously affected by topography in summer when the drought intensity in the areas to the north of Yinshan Mountain and to the west of Helan Mountain is heavier. According to the interannual variation of drought, the drought intensity shows a weakening trend in spring, but an enhancing trend in autumn and no noticeable changes in summer and annual averages. EOF analysis shows that the intensity distribution of drought in Inner Mongolia is mainly distributed in three main modes: identical in the whole region, opposite between the east and the west, and opposite between the central part and the east and west, and their contribution rates are 55.2%, 8.2% and 5.0% respectively. The main variation periods of drought intensity in spring and summer are 3-4 a and 6-7 a. For autumn, a long change period of 17-19 a exists in addition to short period. In addition, there was also a significant change in the short period of 1-2 a during 1995-2005, which indicates that the drought and flood conditions changed sharply during this period in the Inner Mongolia region.

Key words: drought; MCI; Inner Mongolia; temporal and spatial distribution