

# 近 50 年内蒙古中东部地区春夏季干旱特征分析\*

白美兰, 李金田, 李喜仓, 邱瑞琦, 冯晓晶, 杨晶

(内蒙古自治区气候中心, 呼和浩特 010051)

**提 要:** 选取内蒙古地区累年平均降水量  $> 200\text{mm}$  的 75 个气象站点 1961~2010 年逐日平均气温、逐日降水量资料, 基于综合气象干旱指数(CI 指数)计算方法, 建立了各站历年春季和夏季 CI 指数序列。利用 EOF 方法, 分析了内蒙古中东部地区春季和夏季干旱的时空分布特征, 得出: 1) 内蒙古中东部地区春旱和夏旱均分为三种类型, 且均具有全区一致干旱或不旱型、东西反相干旱型和南北反相干旱型的分布规律。但春季和夏季干旱或反向干旱的中心分布区域略有不同。2) 内蒙古中东部地区春季干旱均出现在 1980a 以前, 1980a 后全区性的春季重旱减少, 但局部重旱有所增加。夏旱在 1980a 以后呈两年或以上持续发展的态势, 且近年来全区性夏旱发生频率增高、强度增加。3) 内蒙古地区气候变暖出现在 20 世纪 80 年代中期之后。气候变暖后内蒙古地区降水分配格局发生了变化, 使内蒙古中东部地区春季干旱减轻, 而夏旱加重, 应引起相关部门的重视。

**关键词:** 综合气象干旱指数; EOF 方法; 干旱特征; 气候变暖

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

干燥少雨是内蒙古地区的主要气候特点。全区多年平均降水量为  $50 \sim 500\text{mm}$ , 呈自东向西递减的空间分布特征。降水量年际间差异大, 属于全国降水变率最大地区之一。降水分配不均且水资源严重不足是制约内蒙古经济可持续发展的重要因素, 干旱灾害已成为内蒙古自治区发生次数最多、分布范围最广、影响程度最烈的一种气象灾害<sup>[1]</sup>。尤其是在 20 世纪 80 年代中期内蒙古地区发生气温突变之后<sup>[2]</sup>, 全区性降水分配格局发生了变化, 降水分布不均现象更为明显<sup>[3]</sup>。众所周知, 干旱是由于水分持续亏缺和分布不均引起的异常气候事件, 在不同的气候区有不同的表现特征。由于它发生缓慢、影响因素复杂, 因此不易于判断它的开始、结束以及强度, 人们研究了多种干旱指标来定量诊断干旱的发生、发展过程及变化规律<sup>[4-12]</sup>, 但每种干旱指标均有优缺点及不同的适应区域, 如常用的 Z 指数和标准化降水指数仅考虑降水单因素, 而造成气象干旱的主要气象因素除了降水还有蒸发等多个因子, 因此选择同时考虑降水和蒸发能力因子的综合气象干旱指数(简称 CI 指数, 以下类同), 与单纯利用降水量的干旱指数比较具有较大的优越性<sup>[4]</sup>。张金龙<sup>[13]</sup>、曹永强<sup>[14]</sup>等基于 CI 指数对河北省、辽宁省干旱分布特征及变化规律进行了分析。这些成果对深入开展内蒙古地区干旱研究有较好的借鉴作用。但不同地区干旱的区域响应不同, 对干旱缺水的内蒙古地区来说, 在气候变暖大背景下, 作物主要生长季(春季和夏季)干旱发生了怎样的时空变化? 文中就是基于经验正交函数(EOF)展开, 从干旱场的结构特征来分析内蒙古中东部地区干旱时空演变规律, 旨在为内蒙古地区干旱灾害防御与规划等决策提供依据。

## 1 材料及计算方法

### 1.1 资料及站点选择

经研究 CI 指数在年降水量  $> 200\text{mm}$  的地区实用性较强<sup>[4]</sup>。为此, 自东向西选取位于内蒙古中东部地区 75 个气象站点, 收集了 75 站 1961~2010a 逐日平均气温和逐日降水量资料。春季为 3~5 月; 夏季为 6~8 月。

### 1.2 干旱指数计算

\* 收稿日期: 2012-5-26。

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAC29B04)和内蒙古气候与气候变化创新团队资助。

作者简介: 白美兰(1964-), 女, 内蒙古丰镇人, 硕士, 研究员, 主要从事气候和气候变化影响研究工作。Email: nmghrq@sina.com

基于气象干旱等级国家标准(GB/T 20481-2006),CI 指数的计算公式为:

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30} \tag{1}$$

式中:  $Z_{30}$ 、 $Z_{90}$  分别为近 30d 和近 90d 标准化降水指数值;  $M_{30}$  为近 30d 相对湿度指数; a 为近 30d 标准化降水系数,平均取 0.4; b 为近 90d 标准化降水系数,平均取 0.4; c 为近 30d 相对湿润系数,平均取 0.8。CI 指数是将近 30d(相当月尺度)和近 90d(相当季尺度)降水量标准化降水指数,以及近 30d 相对湿度指数进行综合而得,该指标既反映短时间尺度(月)和长时间尺度(季)降水量气候异常情况,又反映短时间尺度水分亏欠情况,适合实时气象干旱监测和历史同期气象干旱评估。

表 1 综合气象干旱指数 CI 的干旱等级  
Tab.1 Comprehensive meteorological drought index (CI) and drought classes

等级	干旱类型	CI 值
1	无旱	-0.6 < CI
2	轻旱	-1.2 < CI ≤ -0.6
3	中旱	-1.8 < CI ≤ -1.2
4	重旱	-2.4 < CI ≤ -1.8
5	特旱	CI ≤ -2.4

### 1.3 干旱持续时间及强度统计

(1) 干旱过程统计: 各站 CI 指数连续 10d 或以上达到轻旱等级以上,统计为一次干旱过程,干旱过程开始日为第 1d CI 指数达轻旱或轻旱以上等级日期。在干旱发生期,当 CI 指数连续 10d 无干旱等级时干旱解除,同时干旱过程结束,结束日期为最后 1 次 CI 指数达轻旱等级的日期。干旱过程开始到结束期间的时间为干旱持续时间。干旱过程强度定义为 CI 达中旱以上的累计值。

(2) 季内干旱过程统计: 指干旱过程发生在该季内;或干旱过程是跨季的,其持续时间在该季内超过 20d,或者该过程的一半以上时间发生在该季内。季内出现 1 次以上干旱过程的,将过程合并,该季干旱持续时间为几次干旱过程持续时间之和;季干旱强度为几次干旱过程 CI 指数达中旱以上的累积值。

(3) 利用干旱强度的历史序列取第 40、70、85、95 个百分位阈值,各季的干旱强度以百分位阈值划分干旱等级,小于第 40 个百分位阈值的为无旱,第 40 和 70 个百分位阈值之间的为轻旱,第 70 和 85 个百分位阈值之间的为中旱;第 85 和 95 个百分位阈值之间的为重旱;超过第 95 个百分位阈值的为特旱。

### 1.4 分析方法

采用 1961~2010a 内蒙古中东部地区所选的 75 站春季、夏季 CI 指数距平做 EOF 展开<sup>[15]</sup>,利用前三个时间系数的标准化值,分析内蒙古中东部地区春季和夏季干旱时空变化特征。

## 2 春季干旱特征分析

内蒙古中东部地区近 50a 春季 CI 指数场 EOF 分解表明,特征向量的方差贡献率递减速度很快,前 3 个特征向量累积方差贡献达 65.8% (表 2),说明由前 3 个 EOF 的特征向量场可以代表内蒙古中东部地区春季干旱状态的主要空间分布特征(图 1)。图 1a 表征的第一特征场方差贡献最大,达 48.8%,说明内蒙古中东部地区主要以干旱、不早型分布特征为主,中心位于通辽南部、赤峰市和乌兰察布市南部、呼和浩特中部,反映了内蒙古中东部地区干旱分布的一致性,春旱较重年份主要出现在 80 年代之前(表 2)。第二特征场拟合总方差为 10.6%,与第一特征场有明显区别,呈现东旱西不早或西旱东不早型,反映了东西部的反向特征,干旱或不旱的中心分别位于兴安盟西部、通辽市和赤峰市南部,反相中心为呼和浩特以西和以南地区。此型春旱较重年份绝大多数也出现在 80 年代之前(表 2)。第三特征向量场拟合了总方差的 6.3%,主要表征了南旱北不早或北旱南不早的南北反相分布型,干旱中心位于通辽和赤峰市南部,反相中心位于呼伦贝尔市大部地区。此型春旱较重年份主要出现在 60 年代和 90 年代之后(表 2)。

表 2 EOF 分析内蒙古中东部地区春季干旱前 3 个特征向量的方差贡献(%)

Tab.2 Variance contribution of 3 characteristic vectors of spring drought in central and eastern Inner Mongolia using EOF

特征向量	解释方差	标准差(σ) 阈值	出现年份
第一	48.8% 累积 48.8%	≤ -1.0σ	1977、1973、1965、1972、1979、1971、1968、1962、1978、1966
第二	10.6% 累积 59.4%	≤ -1.0σ	1972、1967、1963、1961、1975、2003、1965
第三	6.4% 累积 65.8%	≤ -1.0σ	1994、1966、1968、2000、1995、2001、1965、2004

内蒙古中东部地区春季干旱 CI 指数 EOF 分解第一模态方差贡献最大,表明该模态基本代表了内蒙古中东部地区干旱分布特征。将第一特征向量的时间系数进行标准化处理,从近 50a 内蒙古中东部地区第一特征向量变化趋势来看(图 2),内蒙古中东部地区的干旱型主要表现为明显的两个阶段,即以 1980a 为界,1961~1979a 为内蒙古中东部地区春季干旱的多发时段,1980~2010a 春旱则相对较少。若以 -1 倍

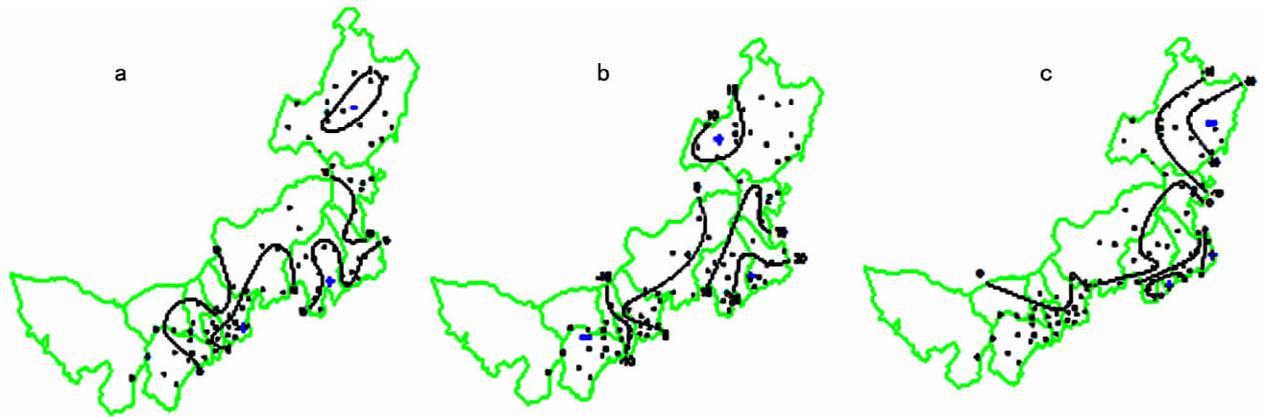


图 1 内蒙古中东部地区春季 CI 指数第一 (a)、第二 (b) 和第三 (c) 特征向量场

Fig. 1 Main characteristic vectors of spring drought in central and eastern Inner Mongolia

标准差表示重旱年,则全区性春季重旱年均出现在 1980a 以前。而内蒙古地区全年气温增暖发生在 20 世纪 80 年代中期的 1986a<sup>[2]</sup>左右,春季增暖相对较早,出现在 1983a<sup>[16]</sup>,说明内蒙古中东部地区春季干旱对全球气候变暖的响应时间早于年和春季气温变暖,即内蒙古中东部地区春旱对气候变暖的响应更为敏感。

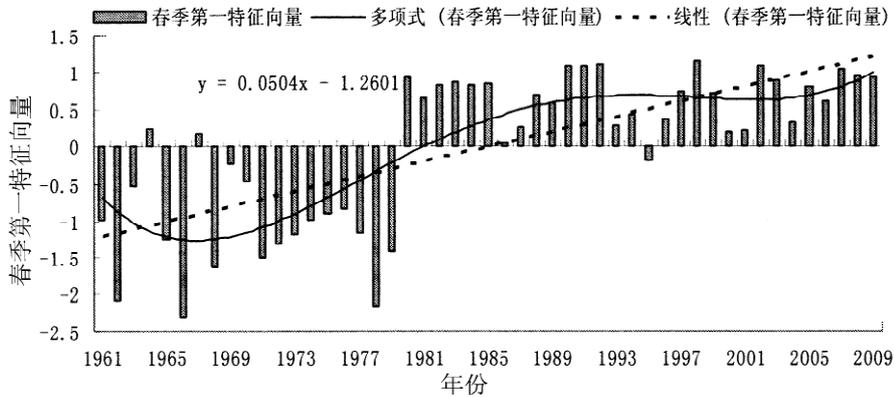


图 2 内蒙古中东部地区春季 CI 指数第一特征向量标准化时间系数变化

Fig. 2 Standardized time coefficients change of first characteristic vector of spring drought in central and eastern Inner Mongolia

同时,从内蒙古中东部地区春季各级干旱出现的范围、持续时间的变化可以看出(图 3 和图 4),内蒙古中东部地区春季发生中旱和重旱(3 级和 4 级)以上出现的站数呈明显减少趋势,平均每 10a 减少 5 站

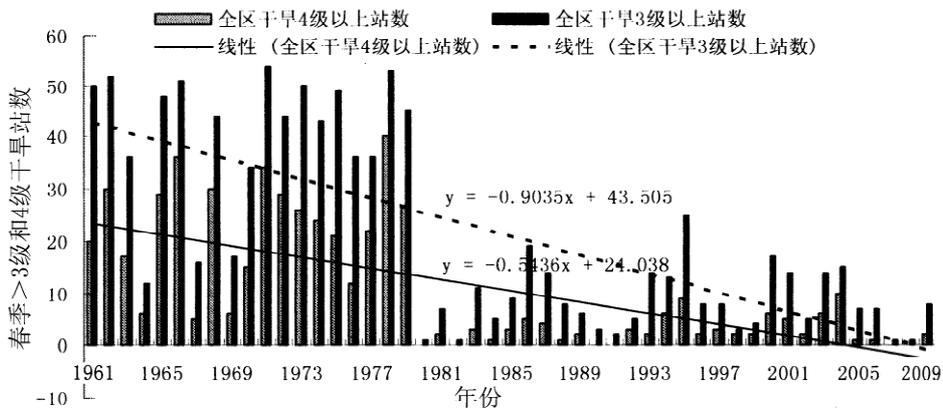


图 3 内蒙古中东部地区春季 CI 指数为 3 级和 4 级以上的站数年际变化

以上,并与第一特征向量的时间系数分布趋势基本一致,以 1980a 为分界线,说明内蒙古中东部地区发生中旱以上级别的干旱范围在逐年减少,尤其是 20 世纪 80 年代之后,春季干旱的威胁在减轻。同时,根据

干旱强度累积值所计算的内蒙古中东部 75 站平均干旱持续天数,也呈现出明显减少趋势,平均每 10a 减少 7d 天以上,并与第一特征向量标准化时间系数的年际变化一致(图 4),也是在 1980a 之后呈突变式减少趋势。说明内蒙古中东部地区春季干旱的特征在 1980a 后发生了显著的变化,即 1980a 后,内蒙古大部地区春季重旱减少,而局部重旱、特旱在增加,尤其是在南北反相分布上(表 2)。

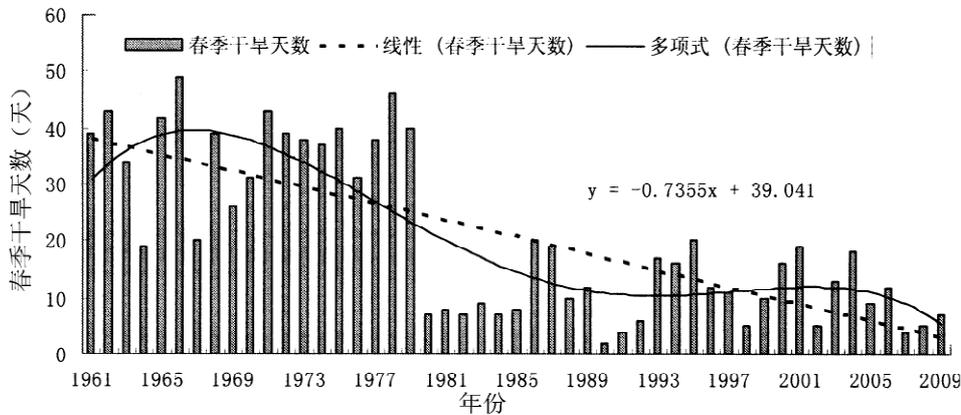


图 4 内蒙古中东部地区春季 CI 指数为 3 级及以上平均干旱天数年际变化

Fig. 4 Change of spring drought days with CI index more than 3 in central and eastern Inner Mongolia

### 3 夏季干旱特征分析

内蒙古中东部地区 75 站 50a 夏季 CI 指数距平 EOF 展开表明,前三个特征向量方差累积贡献率为 49.3% (表 3),低于春旱方差贡献率,说明夏季干旱的波动性更大。内蒙古中东部地区夏季干旱主要以图 5 中表述的三种类型为主,图 5(a)为夏旱的第一特征场,解释方差最大,为 25.6%,说明内蒙古中东部地区夏旱主要以第一特征场表述的干旱与不旱型为主,此型的中心位于鄂尔多斯东部到呼和浩特一线,反映了全区干旱或不旱分布的一致性。此型的夏旱出现年份主要集中在 60 年代、70 年代和本世纪,80 年代较少,90 年代未出现。图 5(b)为夏旱的第二特征场,解释方差为 13.9%,以东旱西不旱或西旱东不旱型为主,反映了东西部的反向特征,干旱或不旱的中心分别位于兴安盟西部、通辽市和赤峰市南部,反相的中心为呼和浩特以西和以南地区,此型夏季干旱主要集中在本世纪初期。在年际变化上,一般 4~6a 会出现一次东西反向的重旱,而 2000a 后,干旱程度明显加重,都为特旱,且具有连年加重的特点。图 5(c)为夏旱的第三特征场,解释方差仅为 9.8%,以南旱北不旱或北旱南不旱的南北反相分布型,干旱中心位于通辽和赤峰市南部,反相中心包含呼伦贝尔市大部地区和鄂尔多斯南部地区。此型夏旱主要集中出现在 20 世纪 80 年代,约出现了 3a。进入 2000a 后,南北反相的重旱以上过程的程度在减轻,年际间变率减小,说明夏季干旱的特征主要表现在非南北差异的形态上。

表 3 EOF 分析内蒙古中东部地区夏季干旱前 3 个特征向量的方差贡献 (%)

Tab. 3 Variance contribution of 3 characteristic vectors of summer drought in central and eastern Inner Mongolia using EOF

特征向量	解释方差	标准差(σ) 阈值	年份
第一	25.6% 累积 25.6%	≤ -1.0σ	1974、1980、1972、2007、1962、2001、1965
第二	13.9% 累积 39.5%	≤ -1.0σ	2003、1968、1972、1992、1961、2000、2004
第三	9.8% 累积 49.3%	≤ -1.0σ	2007、2000、1966、1972、1989、1988、1980

在夏季干旱中第一特征向量的方差贡献最大,说明第一特征向量可代表内蒙古中东部地区夏季干旱的主要分布特征。第一特征向量的标准化时间系数变化趋势表明(图 6),内蒙古中东部地区夏季干旱的年际变化在 1980a 以前,表现为干旱的次年为不旱年,即干旱一般不会在两年内连续发生。而 1980a 以后,内蒙古中东部地区的干旱一般呈连续两年或以上的持续态势,且干旱发生频率加快,强度增加,夏季干旱有加重趋势。从重旱以上站数年代际变化看(图 7),20 世纪 60 年代内蒙古中东部地区重旱出现站数平均为 10~15 站;70 年代下降到 9 站;80 年代成为近 50a 的低谷期,仅为 7 站;90 年代略有增加,到本世纪前 10a 迅速上升到 15 站,全序列年代际变化呈现“V”型分布。

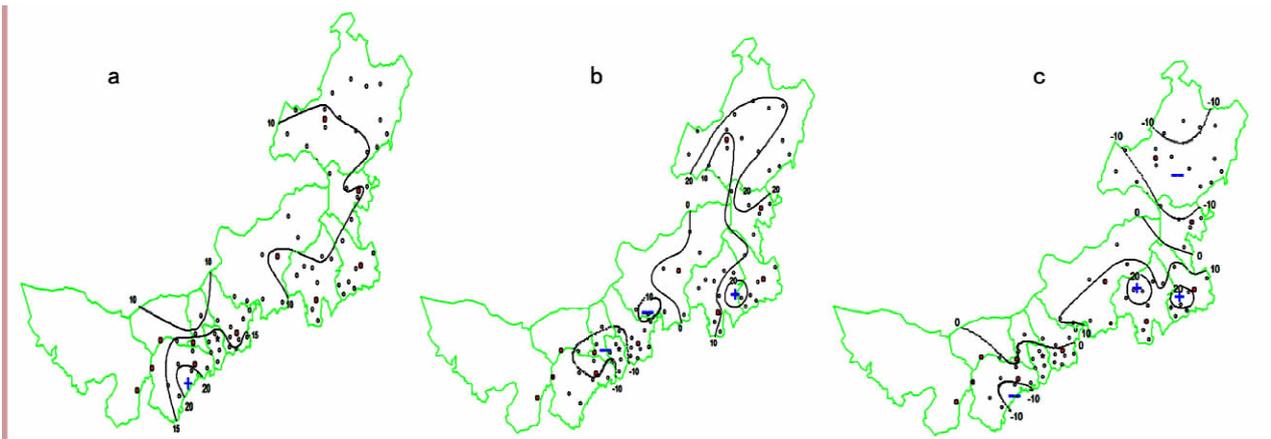


图 5 内蒙古中东部地区夏季 CI 指数第一 (a)、第二 (b) 和第三 (c) 特征向量场  
 Fig. 5 Main characteristic vectors of summer drought in central and eastern Inner Mongolia

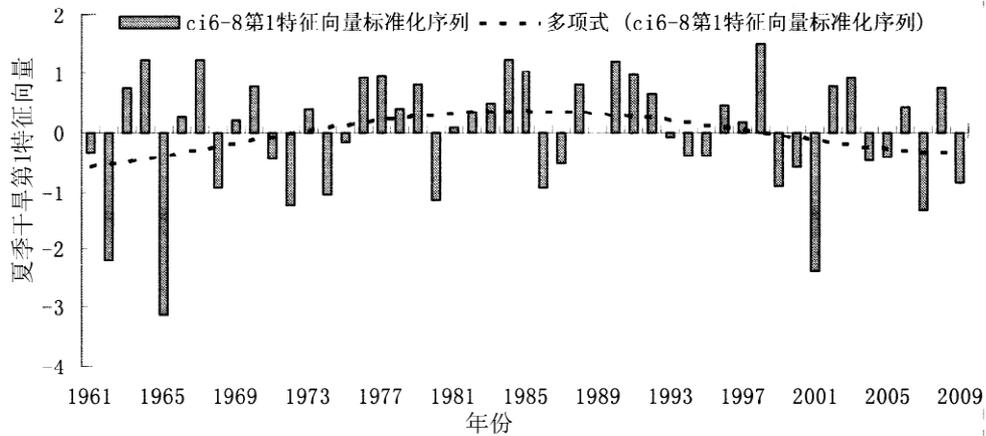


图 6 内蒙古中东部地区夏季 CI 第一特征向量标准化时间系数变化  
 Fig. 6 Standardized time coefficients change of first characteristic vector of summer drought in central and eastern Inner Mongolia

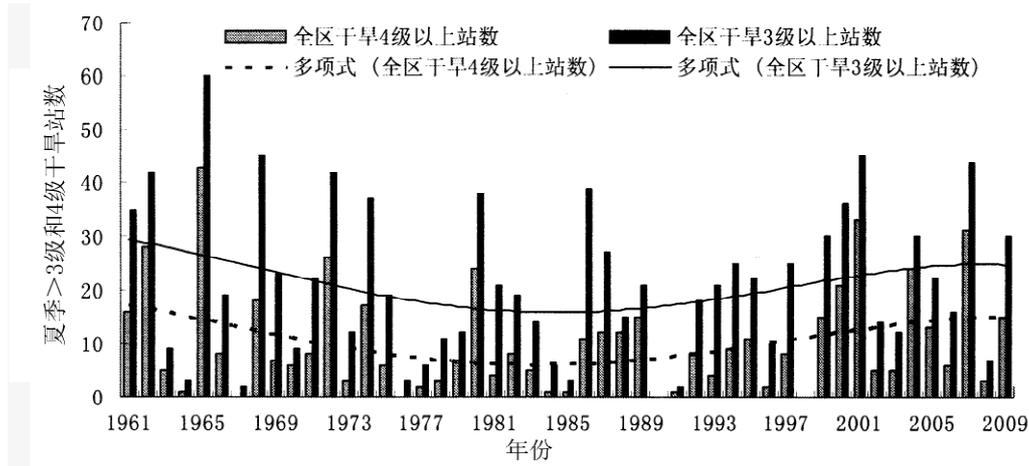


图 7 内蒙古中东部地区夏季 CI 指数大于 3 级和大于 4 级干旱站数年代际变化  
 Fig. 7 Changes of station number with summer drought CI index more than 3 and 4 in central and eastern Inner Mongolia

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1) 内蒙古中东部地区春季干旱型分为三类: 1) 一致干旱或不旱型, 中心位于通辽市南部、赤峰市、锡

林郭勒盟西南部、乌兰察布市南部、呼和浩特中部,表征了内蒙古中东部地区春季干旱分布的一致性特点,解释方差为 48.8%; 2) 东西反相干旱分布型,干旱或不旱的中心分别位于兴安盟西部、通辽市和赤峰市南部,反相的中心为呼和浩特市以西和以南地区,解释方差为 10.6%; 3) 南北反相干旱分布型,干旱中心位于通辽市和赤峰市南部,反相中心包含呼伦贝尔市大部地区,解释方差 6.4%。

(2) 内蒙古中东部地区夏季干旱型分为三类: 1) 一致干旱或不旱型,解释方差占 25.6%,中心位于鄂尔多斯市东部到呼和浩特市一线,反映了内蒙古中东部地区夏季干旱分布的一致性特点; 2) 东西反相干旱分布型,反映了东西部的反相特征,干旱或不旱的中心分别位于通辽市和赤峰市东部,反相的中心为呼和浩特市、包头市南部和鄂尔多斯市东北部地区,解释方差 13.9%; 3) 南北反相分布型,干旱中心位于通辽市和赤峰市,反相中心包含呼伦贝尔市大部 and 鄂尔多斯市偏东部地区,解释方差 9.8%。

(3) 内蒙古中东部地区的春旱主要出现在 1980a 以前,1980a 后内蒙古中东部地区的春季重旱减少。夏旱在 1980a 以后呈 2a 或以上持续的态势,且夏旱发生频率高,强度增加,夏季干旱危害加剧。

#### 4.2 讨论

干旱是内蒙古地区发生频次最高、危害最为严重的气象灾害,内蒙古地区有十年九旱之称<sup>[1,17]</sup>。随着气候变暖,内蒙古地区暖干气候特征更为明显,对内蒙古地区生态环境等产生了明显影响<sup>[3,18]</sup>。这似乎是气候变暖后内蒙古地区干旱化趋势加剧,并且大多数研究成果得出的也是这样的结论。事实上干旱在不同阶段对气候变化的响应是不同的,只分析年尺度的干旱变化,可能会滤掉干旱阶段变化特征。在全球气候变暖背景下,内蒙古地区降水分布格局发生了变化,因此,文中分春季和夏季两个时段分析干旱的变化规律,得出的:春旱在气候变暖之后发生频率减轻,危害减弱;而夏旱尤其是连续性夏旱发生频次增加,影响范围增大等结论,更进一步细化了干旱的阶段变化特征,也更有实际意义。这也进一步表明春季和夏季干旱对气候变暖的响应是不同步的。

#### 参考文献

- [1] 温克刚, 主编. 中国气象灾害大典(内蒙古卷) [M]. 北京: 气象出版社, 2008: 8-9.
- [2] 尤莉, 戴新刚, 邱海涛. 1961-2006 年内蒙古年平均气温突变分析 [J]. 内蒙古气象, 2010(2): 3-6.
- [3] 陈素华, 宫春宁. 内蒙古气候变化特征与草原生态环境效应 [J]. 中国农业气象, 2005, 26(4): 246-249.
- [4] 冯晓晶, 高志国, 马朴. 气象干旱指标在内蒙古干旱监测评估中的应用 [J]. 内蒙古气象, 2011(5): 39-42.
- [5] 马柱国, 华丽娟, 任小波. 中国近代北方极端干湿事件演变规律 [J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 69-74.
- [6] 刘晓云, 李栋梁, 王劲松. 1961-2009 年中国区域干旱状况的时空变化特征 [J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 473-483.
- [7] 荣艳淑, 余锦华, 段丽瑶. 20 世纪 80 和 90 年代华北干旱特征及成因分析 [J]. 高原气象, 2007, 26(2): 319-326.
- [8] 李维京, 赵振国, 李想, 等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究 [J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 1-5.
- [9] 姚玉璧, 董安祥, 王毅荣, 等. 基于帕默尔干旱指数的中国春季区域干旱特征比较研究 [J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 22-30.
- [10] 窦林茵, 托亚, 李海明. 内蒙古干旱监测等级评价指标的探讨 [J]. 内蒙古科技与经济, 2010(2): 57-60.
- [11] 张存厚, 王明玖, 李兴华, 等. 近 30 年来内蒙古地区气候干湿状况时空分布特征 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 70-76.
- [12] 李久生. 北方地区干旱变化趋势分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(3): 42-51.
- [13] 张金龙, 刘学锋, 于长文. 河北省干旱分布特征和变化规律分析 [J]. 干旱区研究, 2012, 29(1): 41-46.
- [14] 曹永强, 张兰霞, 张岳军, 等. 基于 CI 指数的辽宁省气象干旱特征分析 [J]. 资源科学, 2012, 34(2): 265-272.
- [15] 吴洪宝, 吴蕾, 编著. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 15-33.
- [16] 内蒙古自治区气候中心编印. 内蒙古自治区气候变化公报(内部材料) [Z]. 2007: 1-3.
- [17] 王文辉, 主编. 内蒙古气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [18] 白美兰, 郝润全, 郝瑞琦, 等. 内蒙古东部近 54 年气候变化对生态环境演变的影响 [J]. 气象, 2006, 32(6): 31-36.

## Spring and summer drought characteristics in central and eastern Inner Mongolia nearly 50 years

BAI Meilan, LI Jintian, LI Xicang, DI Ruiqi, FENG Xianjing, YANG Jing

(Region Climate Center of Inner Mongolia Autonomous, Hohhot 010051, P. R. China)

**Abstracts:** Based on the comprehensive meteorological drought index (CI), using data of daily temperature and precipitation of 75 weather stations which have more than 200mm precipitation a year, CI sequences and spatial and temporal distribution in spring and summer during 1961-2010 were built. It shows that: (1) Drought in spring and summer of central and eastern Inner Mongolia can be divided into three types: drought or not drought all over the central and eastern Inner Mongolia, anticorrelation of east and west part of drought, anticorrelation of north and south part of drought. (2) Drought in spring was reduce after 1980, but regional heavy drought in spring was increase; drought frequency in summer in Inner Mongolia increased. (3) Climate warming began in 1980s. Since then the precipitation distribution changed, which aggravated the summer drought.

**Key words:** comprehensive meteorological drought index; EOF method; drought characteristics; climate warming