

# 华北不同地表覆盖类型区干旱演变特征

周 磊<sup>1, 2, 3</sup>, 武建军<sup>1, 2\*</sup>, 吕爱峰<sup>4</sup>, 张 洁<sup>1, 2</sup>, 赵 林<sup>1, 2</sup>

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学民政部/  
教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 3. 中国环境监测总站, 北京 100012;  
4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 利用华北地区气象站点 1960~2008 年共 49 年的降水旬数据集逐旬计算 1 个月、3 个月、12 个月尺度的标准化降水指数 (SPI) 序列。采用 SPI 历史序列的多年滑动平均和滑动标准差方法, 解析研究区及 3 种主要地表覆盖类型区 (草原区、农田区、阔叶林带) 干旱在整个时间序列上的演变周期和幅度。采用线性回归分析干旱的演变趋势和变化频度, 并对趋势线进行预测。对比了 3 个子区域全年 12 个月份干旱演变特征的差异。结果表明: 研究区干旱发生的频率和强度呈逐渐加重的趋势, 且各月份干旱发展趋势有较大差异, 夏季的 6 月、7 月降水较历史时期增多, 春旱 (4 月)、秋旱 (9 月和 10 月) 加重趋势显著。草原区在整个历史时期的干旱变化趋势不如南部农作物区和中部阔叶林带明显。农作物区 9 月、10 月两月份干旱加重的趋势最显著, 说明黄淮海平原区的夏玉米将越来越受到秋旱的威胁, 防旱抗旱形势重于冬小麦面临的春旱, 冬小麦的秋种受干旱的影响将加重。

**关键词:** 干旱; SPI; 演变趋势; 滑动平均; 滑动标准差

**文章编号:** 1000-0585(2012)04-0597-11

## 1 引言

干旱是全球最为常见的自然灾害, 据测算全球每年因干旱造成的经济损失高达 60~80 亿美元, 远超过了其他气象灾害<sup>[1,2]</sup>。20 世纪 50~80 年代因旱灾损失的粮食占全国粮食损失总量的 50%<sup>[3]</sup>。1949~2006 年我国平均每年受旱面积 2122 万  $\text{hm}^2$ <sup>[4]</sup>, 近几十年随着极端天气和气候事件的频率与强度增加, 干旱事件频繁发生, 对人类生存环境造成的危害日益严重<sup>[5]</sup>。华北及其北部草原区是我国重要的农牧业基地, 黄淮海平原农田区是中国冬小麦和夏玉米的主产区, 而华北北部的草原区牧业生产在当地居民的经济收入中占主要地位。华北地区降水主要受太平洋季风的强弱和雨区进退的影响, 地区上分布不均匀, 季节间和年际间变化更是剧烈。干旱的发生给农牧业造成的损失巨大, 对华北山地阔叶林带及泾渭盆地北部阔叶林带而言, 干旱还造成农牧业结构的变化, 使地区间人地关系受到影响。在该区域分别研究农作物区、草原区和阔叶林区干旱的特点和演变特征, 是深入了解干旱, 降低干旱造成损失的重要手段, 对当地农牧业结构调整, 保证区域可持续发展具有十分重要的意义<sup>[6]</sup>。

收稿日期: 2011-04-13; 修订日期: 2011-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40801216); 国家高技术研究与发展资助项目 (2006AA120108)

作者简介: 周磊 (1983-), 男, 山东临沂人, 博士, 主要从事地表遥感监测和减灾信息系统研究。

E-mail: zhouleis8341@163.com

通讯作者: 武建军 (1971-), 男, 陕西榆林人, 博士, 副教授, 主要从事灾害与风险管理、遥感和 GIS 研究。

E-mail: jjwu@bnu.edu.cn

然而干旱具有较复杂的时空特征,至今仍不存在统一的定义和描述<sup>[7]</sup>。大部分对干旱的理解均涉及某一时段内降水的测量值<sup>[8,9]</sup>,或者降水与其他气象要素的结合<sup>[10]</sup>。对华北地区而言,导致干旱发生的直接原因就是干旱的气候和水资源短缺,主要是降雨量的偏少,因此降雨量的大小是描述气候及其变化的关键指标之一<sup>[11]</sup>。马柱国等利用月降水及月平均气温资料分析了中国的干旱特征和变化趋势,揭示出20世纪80年代以来,西北东部和华北以干旱化趋势为主要特征的基本事实,而且这种干旱化的趋势在之后的15年不断加剧<sup>[12]</sup>。张力斐等利用唐山地区的降水和水文资料分析了唐山地区1956~2005年的干旱演变特征<sup>[11]</sup>。荣艳淑等利用华北地区的降水资料对80年代和90年代的干旱进行了比较,并从对全球变暖的响应方面探讨了干旱的成因。相比单纯对降水和温度的直接分析,基于历史降水资料的标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, *SPI*)<sup>[13]</sup>可以定量评价干旱程度,实现了不同区域之间的可比性,在分析干旱特征方面具有独特的优势<sup>[14~18]</sup>。国内的多名学者将*SPI*应用到不同地区的干旱监测和评价,证明了*SPI*在中国的适用性<sup>[19~21]</sup>。闫峰等利用*SPI*对近50年来河北省干旱的时空变化特征进行了研究,得出了春、夏、秋、冬四个季节干旱的不同变化趋势<sup>[6]</sup>。

已有研究大多是在全国或者地区等较大尺度上分析干旱在不同年代的特征和变化趋势,对华北不同的地表覆盖类型区的干旱在1960~2009年整个历史时期内演变趋势的研究较少。本文采用多尺度*SPI*分析华北草原区、农田区、阔叶林带3个区域干旱年际和年内12个月份的演变特征。利用对*SPI*时间序列的滑动平均和滑动标准差方法,解析各月份干旱在整个历史时期的演变趋势和干旱变化频率及幅度,以期加深对干旱发展趋势和规律的理解,对草原区、农田区和阔叶林带的农牧业干旱管理和决策具有实际的指导意义。

## 2 研究概况与数据来源

### 2.1 研究区和数据

为评价不同气候区域和地表覆盖类型区干旱的时间演变特征,本文的研究区(图1)包括:暖温带半干旱区,中温带半干旱区,暖温带半湿润区。土地利用类型包括:草原,草甸草原,半湿润、半干旱、干旱条件下的林地,农用地等,涉及了我国的重要粮食产地、牧区,阔叶林带和农业牧业交错地带。研究区中草地占41.8%,农用地占44.5%,林地占9.9%,居民地占2.9%。行政区域包括:内蒙古东南、河北、北京、天津及河南、山东的黄河以北地区,位于北纬34°30′至44°20′、东经109°至119°15′之间。从北向南年均降水量300mm~800mm,受东亚季风气候的影响,降水地区上分布不均匀,季节间和年际间变化更是剧烈,且干湿变化幅度大于温度变化幅度,干湿条件成为本区农牧业生产的主要制约因素。

本文分析所用的气象数据来源于中国气象科学数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn/>),通过对研究区所有站点气象数据的整理和分析,排除数据缺失较多的站点,最终研究区共有48个气象站点满足要求。气象数据包含1960~2008年共49年的旬值数据集。区划数据来自于中国生态地理区划图<sup>[22]</sup>。根据气候特征一致的原则将原生态区划合并为2个子区域(图2),即:暖温带和中温带半干旱区主要的地表覆盖类型为草原、暖温带半湿润区主要的地表覆盖类型为落叶阔叶林带和农作物。根据暖温带半湿润区的地类差别,将该区域分为落叶阔叶林带和农作物区。北部草原区包括了:内蒙古东部草原区,大兴安岭南

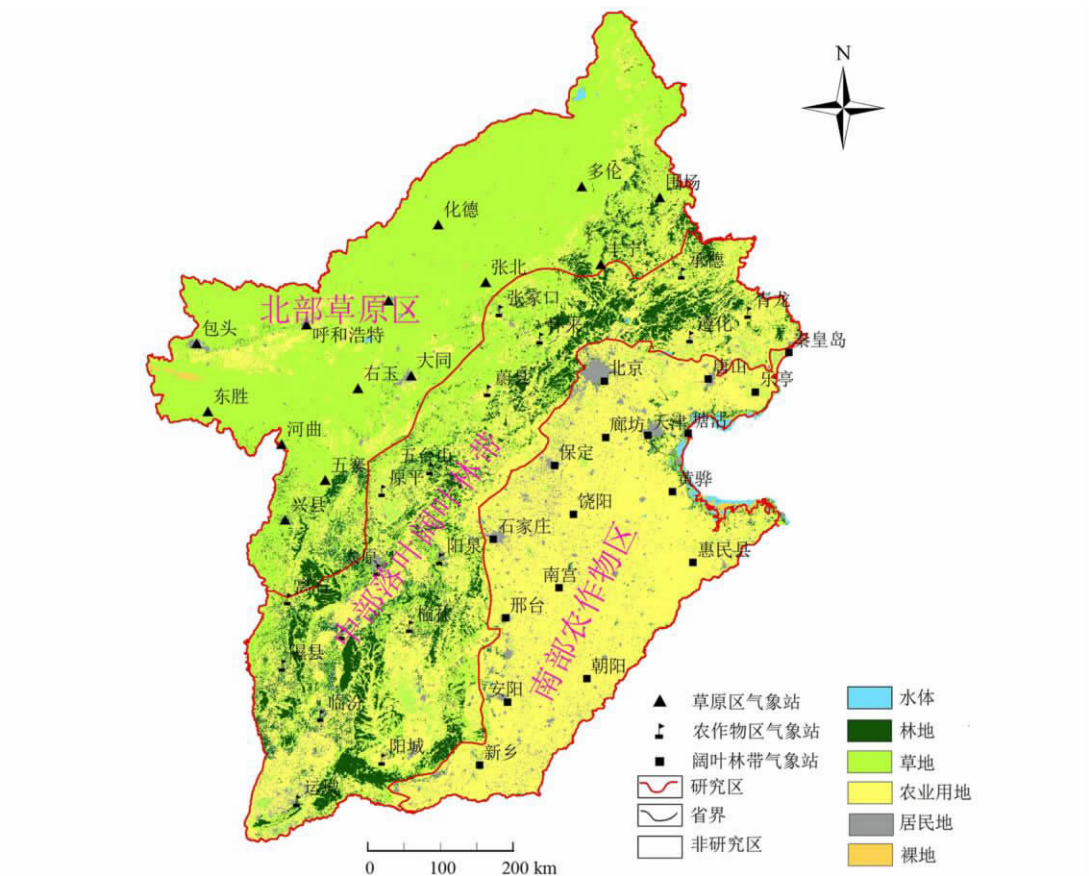


图 1  研究区位置示意图及子区域划分  
Fig. 1  Study area and its sub-regional division

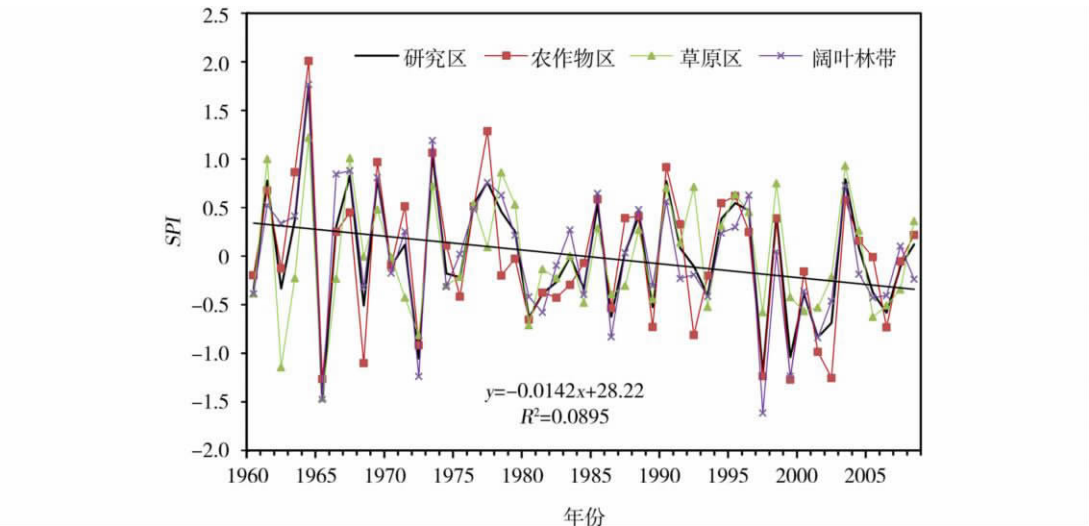


图 2  研究区及各子区域 SPI 序列年际演变特征  
Fig. 2  Interannual evolution of SPI in the study area and its sub-region

段草原区, 黄土高原北部草原区, 草地面积占该区 80.09%; 中部落叶阔叶林带包括: 华北山地落叶阔叶林区 and 泾渭盆地落叶阔叶林区东段, 林地占该区 40.14%; 南部农作物区主要是华北平原人工植被区 (黄河以北地区), 农业用地占该区 87.62%。各地类的统计数据来自美国 NASA 的 land processes distributed active archive center 提供的 2008 年 500m 分辨率地表覆盖类型产品, 地类采用全球植被分类标准 (global vegetation classification scheme, IGBP)。经过对研究区内气象站点的统计分析确定分别有 14 个、17 个、17 个气象站点位于三个子区域。

## 2.2 标准化降水指数

长时间序列的降水量分布是一种偏态分布,  $SPI$  采用  $\Gamma$  分布概率来描述降水量的变化, 在计算出某时间段内降水量的  $\Gamma$  分布概率以后, 再进行正态标准化处理, 最后用标准化降水累积概率分布来划分干旱的等级<sup>[13]</sup>。

假设某段时间内降水量的  $\Gamma$  概率密度分布函数为<sup>[23]</sup>:

$$f(x) = x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} \beta \Gamma(x) \quad (1)$$

式中:  $\beta > 0$ 、 $\gamma > 0$  分别为概率密度函数的尺度和形状参数, 可用最大似然估计法求得。

对于要求的时间段内的降水量  $x_0$ , 可用拟合后的概率密度函数求出随机变量  $x$  小于  $x_0$  事件的概率为<sup>[23]</sup>:

$$F(x < x_0) = \int_0^{\infty} f(x) dx \quad (2)$$

对求出的概率进行标准正态化处理, 并求标准正态函数的近似解便得到标准化降水指数  $SPI$ 。而对于降水为 0 的事件, 可由下式进行估计<sup>[23]</sup>:

$$F(x < x_0) = m/n \quad (3)$$

式中:  $m$  为降水量为 0 的样本数、 $n$  为总样本数。

利用所有气象站点 1960~2008 年的降水旬值数据集逐旬计算 1 个月、3 个月和 12 个月尺度的  $SPI$  值, 从年际变化和各月份历史演变趋势两个角度分析华北及北部草原区干旱时间演变特征, 并比较草原区、阔叶林带、农田区干旱演变特征的异同。根据气象干旱等级国家标准<sup>[23]</sup>, 按照标准化降水指数的值将干旱划分为以下 5 个等级 (表 1)。

## 2.3 $SPI$ 时间序列分析方法

滑动平均模型 (Moving Average) 是时间

序列分析中的基本方法, 采用  $N$  年滑动平均值, 对于分析研究区干旱指数的周期性有其优势。经过滑动平均处理的序列可以把小于  $N$  年的小波消除, 把大于  $N$  年的周期性明显地表示出来, 更容易展现整个历史时期的干旱变化趋势。

标准差 (Standard Deviation) 作为能反应时间序列干旱指数离散程度的度量方法, 同时可以作为  $SPI$  序列不确定性的一种测量。本文采用滑动标准差模型分析  $SPI$  历史序列的波动程度随时间变化的趋势,  $N$  年滑动标准差定义为: 采用  $N$  年窗口, 求窗口内所有  $SPI$  值的标准差作为窗口中心点值, 按时间间隔移动窗口, 重复上述计算方法, 直到完成一个站点所有的  $SPI$  序列处理。

表 1 标准化降水指数干旱等级分类

Tah 1 Drought grades of standardized precipitation index

$SPI$	等级
$SPI > -0.5$	无旱
$-0.5 \geq SPI > -1$	轻旱
$-1 \geq SPI > -1.5$	中旱
$-1.5 \geq SPI > -2$	重旱
$-2 \geq SPI$	特旱

### 3 结果分析

#### 3.1 干旱年际演变特征

1960~2008 的 49 年间, 北部草原区干旱发生的强度和频率呈逐渐加重的趋势 (图 2), 全区的干旱指数值平均每年以 1.42% 的速度减小。60 年代至 70 年代, 干旱状况急剧变化, 且变化频率高, 干旱和湿润年交替周期保持在 1~2 年左右。1964 年、1965 年出现了连续的极端湿润年和极端干旱年, 均达到 49 年来的最高值。70 年代中期至 80 年代中期的 10 年间干旱变化呈缓和态势, 且干旱程度呈加重的趋势。80 年代至 90 年代  $SPI$  序列变化平稳, 90 年代末开始干旱事件在年际上频繁发生, 尤其是 1999~2002 年出现了连续 4 年的干旱年, 之后的几年虽出现湿润年, 但全区整体上干旱加重趋势明显。

对比北部草原区、中部落叶阔叶林带、南部农作物区 3 个子区域的干旱指数年际序列特征发现, 1980 年之前的 21 年间, 在湿润年份南方农作物区降水量大于研究区平均水平, 1980 年至 2008 年南方农作物区则在干旱年份降水量低于研究区平均水平。与之相反, 北方草原区在 80 年代之前  $SPI$  曲线相比研究区平均程度而言差异不明显, 在 80 年代以后的湿润年份其降水量明显大于研究区平均水平, 而干旱年份降水量则整体低于研究区平均水平。在整个研究时段, 中部阔叶林带  $SPI$  曲线变化特征基本和研究区平均水平一致, 只在 1972 年、1986 年和 1997 年表现出低于研究区平均水平的干旱程度。

为详细分析研究区的干旱演变规律, 计算研究区每月第三旬的 1 个月尺度  $SPI_1$  代表该月份的干旱程度 (图 3), 发现华北地区及北部草原区各月旱涝发生频繁, 其中最湿润月份出现在 1964 年 4 月,  $SPI$  值达到 2.117。最早月份出现在 2001 年 5 月,  $SPI$  值为 -1.519, 达到了重旱程度, 1991 年 8 月份和 1966 年 8 月份干旱程度也较严重,  $SPI$  值分别为 -1.508 和 -1.417, 达到了中旱和重旱程度。单从月尺度的干旱指数序列很难分析研究区干旱变化趋势和干旱变率的历史演变特征, 因此对研究区月尺度的  $SPI_1$  序列分别作了 1 年、5 年、10 年滑动平均及 5 年滑动标准差序列 (图 4~6)。

月尺度  $SPI$  的 1 年滑动平均序列基本和 12 个月尺度的  $SPI$  序列保持了相同的变化特征, 该序列保留了年尺度以上的干旱变化周期。分析 5 年和 10 年滑动平均序列可见, 70

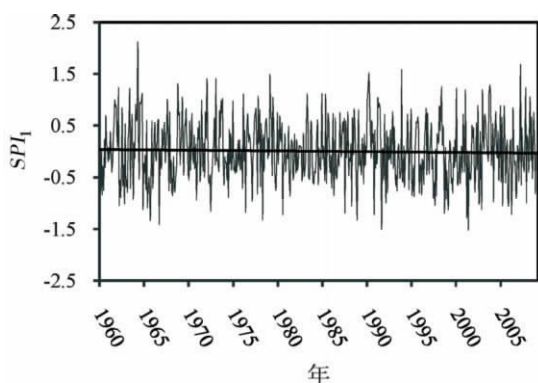


图 3 研究区月尺度  $SPI$  序列

Fig. 3 One-month scale  $SPI$  serial in the study area

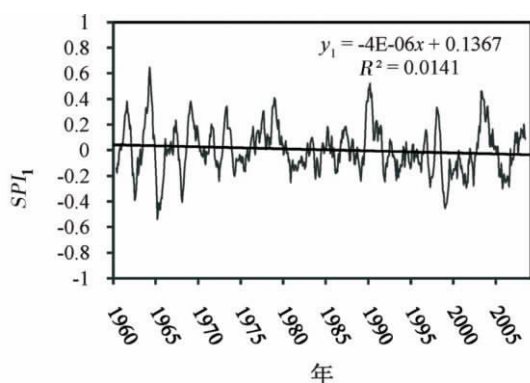


图 4 研究区月尺度  $SPI$  序列 1 年滑动平均

Fig. 4 One-year moving average of one month  $SPI$  serial in the study area

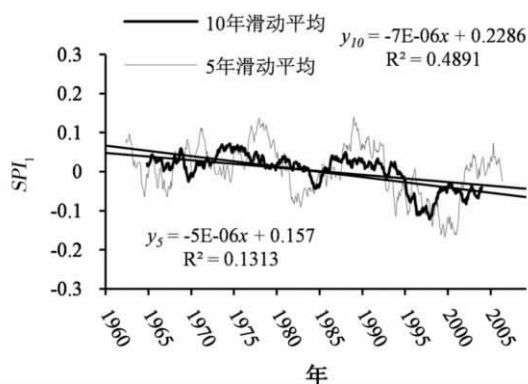
图5 研究区月尺度  $SPI$  序列 5 年和 10 年滑动平均

Fig. 5 Five-year and ten-year moving averages of one month  $SPI$  serial in the study area

图6 研究区月尺度  $SPI$  序列 5 年滑动标准差

Fig. 6 Five-year moving standard deviation of one month  $SPI$  serial in the study area

年代以前干旱频繁发生, 周期短频率高, 除去干旱的年际变化, 每隔 2~5 年便出现一次整体的干旱和湿润交替变化周期。1975 年以后干旱周期变化趋于平稳, 干旱发生周期呈逐渐变长的趋势, 基本上每 10~15 年出现一次周期变化。从 5 年滑动平均序列上来看 2005 年干旱指数值已呈下降趋势。从滑动平均序列的最小二乘线性回归方程来看, 研究区整个历史时期干旱加重的趋势明显, 5 年、10 年滑动平均序列的线性预测  $R^2$  分别达到了 0.13 和 0.49, 均通过 0.01 显著性水平检验。

干旱周期变化的幅度随着年代的不同也发生着变化 (图 6), 60 年代为变率最大时期, 70 年代至 80 年代干旱变率趋于平缓。80 年代以后干旱的变率先增大后减小, 表现出周期性变化的趋势, 但整体呈逐渐增大的趋势。第二个周期出现在 1995 年至 2005 年, 2005 年已成逐渐下降趋势。

### 3.2 各月份干旱演变趋势

研究区 12 个月份 49 年干旱指数的 5 年滑动平均序列 (图 7) 演变趋势有较大的差异。在研究区干旱年际变化表现出加重趋势的大背景下, 全年 12 个月的干旱发展趋势各不相同, 表现出降水季节分配不均匀现象加重的趋势。即夏季各月份降水较历史时期增多, 而春, 秋季节各月份干旱加重的趋势明显, 秋旱发生的概率大于春旱, 在整个历史时期表现出非常明显的加重趋势, 对农作物 (尤其是夏玉米) 的影响更加严重。冬季干旱演变趋势不明显, 二月份还表现出减轻的趋势, 即对华北地区而言冬旱发生的概率较历史时期变化不明显。

12 月和 1 月的干旱指数变化趋势并不明显, 滑动平均值每年的变率分别为 0.17% 和 0.15%。从  $SPI$  序列的变化特征来看, 两个月份的干旱指数变化趋势基本相同。80 年代以前, 2 月份  $SPI$  整体较高, 只在历史上的极端干旱年 1965 年发生干旱。80 年代和 90 年代为历史上的冬季干旱阶段, 冬旱发生的频率较高。90 年代以后干旱指数表现出 10 年为周期的变化过程。2 月和前两个月份变化趋势略有不同, 在经历了 60 年代、70 年代的  $SPI$  高值期后, 80 年代既表现出 10 年为周期的高值和低值变化, 且整个历史时期干旱指数呈略增大的变化。由此可见, 整个华北及其北部草原区冬旱演变趋势并不明显。

3~5 三个月份的干旱指数历史演变趋势同样不明显, 3 月、4 月呈略降低的趋势, 而

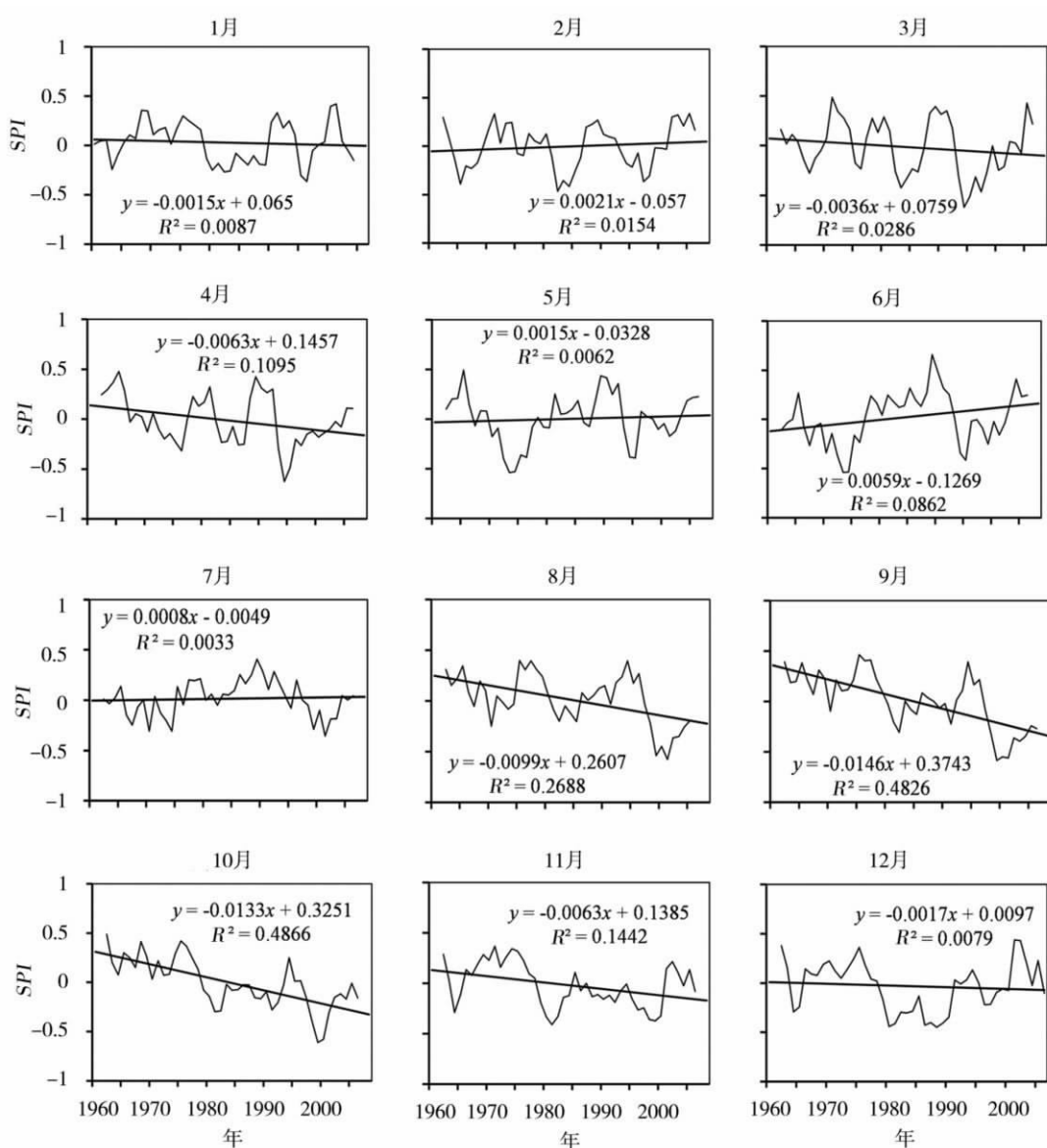


图 7 研究区各月份 SPI 的 5 年滑动平均序列

Fig. 7 Five-year moving average of SPI serial in 12 months in the study area

5 月则呈略增大的趋势。三月份中 4 月的趋势性最为明显, 滑动平均值每年以 0.63% 的速度降低, Pearson 相关系数为 -0.331, 显著性水平为 95%。3 月的滑动平均值在整个历史时期表现出良好的周期性, 90 年代以后干旱化趋势加重。4 月和 5 月的干旱指数变化周期相似, 80 年代以前干旱指数值逐渐降低, 80 年代开始表现出 10 年周期性的变化, 2000 年左右经历了一个较长的干旱期。华北地区冬小麦在 3 月、4 月进入返青和拔节期, 作物需水关键, 春旱对作物的危害较大, 应采取积极的应对措施降低春旱的损失。

6 月、7 月在整个历史时期干旱指数呈增大的趋势, 6 月较明显, 5 年滑动平均值平均每年以 0.59% 的速度增加。8 月则干旱指数降低趋势较明显, 滑动平均值平均每年以



0.99%的速度降低,线性回归显著性水平为99%。从变化周期上来看,6月的干旱指数表现出较明显的周期性,其中80年代为历史上的湿润期。7月在80年代以前变化平稳,80年代以后的20年间经历了一个从高到低的变化周期。8月也表现出良好的10年为周期的高低值变化趋势,2000年以后干旱趋势加重。

9~11三个月份干旱指数均表现出明显的降低趋势,说明华北地区秋旱发生概率明显增大,对夏玉米的影响最为严重。9月和10月的滑动平均值平均每年以1.46%和1.33%的速度降低,相关系数均达到0.48,显著性水平为99%,为12个月份变化趋势最大的两个月份。11月份降低趋势的相关系数 $R^2$ 也达到了0.14,显著性水平为95%。从变化周期上来看,9月和10月相似,70年代以前为高值期,70年代开始表现出10年周期性的高值和低值交替,但整体呈降低趋势。11月呈现较好的周期性变化趋势,其中1985~2000年经历了较长的干旱期。

已有研究表明,90年代以后华北地区在全球变暖背景的影响下,气温升高更快更强,对干旱造成的影响加重<sup>[24]</sup>。同时,500 hPa大气环流场特征的变化对中高纬度的天气和气候有明显的影 响,西伯利亚高压指数在春、夏季和 华北地区的降水显著相关,该指数的强弱变化在一定程度上解释了华北干旱的演变趋势<sup>[25, 26]</sup>。

为分析各月份干旱指数变化的幅度,计算了12个月份的5年滑动标准差序列,并基于该序列计算12个月的多年滑动标准差平均值(表2)。由表可见, $SPI$ 的变化幅度在1月、7月和8月份较小,而在3月、4月和5月份较高,分别达到了0.633、0.679和0.684,秋季的9月、10月和11月份居中。可见春季和秋季不仅干旱加重的趋势明显,其干旱指数变化的幅度也为全年最高,即在华北地区及北部草原区,不仅春旱秋旱的发生概率增大,而且极端湿润和极端干旱灾害出现的概率也为全年最高。

### 3.3 不同地表覆盖类型区干旱演变特征

为比较草原区、阔叶林带和农作物区的各月份历史干旱的演变规律,采用每月第3旬的3个月尺度 $SPI_3$ 平均值代表研究区该月的干旱状态,然后计算各子区域气象站点干旱指数空间平均值。对各月历史 $SPI$ 序列求5年滑动平均,然后采用线性最小二乘回归拟合滑动平均序列的变化趋势,回归结果如表3所示。

北部草原区在整个历史时期的干旱变化趋势不如南部农作物区和中部阔叶林带明显,8月至次年1月之间的6个月内干旱呈加重的趋势,但 $SPI$ 滑动平均序列下降趋势不明显。而6月、7月 $SPI$ 则表现出明显增大的趋势,其趋势超过南部农作物区和中部阔叶林带,显著性水平达到99%,为研究区 $SPI$ 增大趋势最显著区域。

南部农作物区各月份干旱演变的趋势有差异。2~4月及8~11月干旱呈加重趋势,4月、8~10月 $SPI$ 滑动平均序列线性回归显著性水平达到99%,11月显著性水平也达到95%。全年其他月份 $SPI$ 在整个历史时期呈现增大的趋势。春旱和秋旱加重,其中9月、10月 $SPI$ 序列5年滑动平均值平均每年下降超过0.018,线性回归显著性水平达到99%。若 $SPI$ 继续保持现在的变化趋势,黄淮海农作物区的夏玉米将越来越受到秋旱的威胁,

表2 研究区各月份干旱指数  
5年滑动标准差序列  
多年平均值

Tab 2 5-year moving standard  
deviation mean values of  $SPI$  serial  
in 12 months in the study area

月份	滑动标准差均值
1	0.549
2	0.633
3	0.679
4	0.660
5	0.684
6	0.629
7	0.540
8	0.541
9	0.586
10	0.590
11	0.604
12	0.559



抗旱形势重于冬小麦面临的春旱。同时由于秋旱的趋势的加重，对冬小麦的秋种也将产生越来越严重的影响。

表 3 各地表覆盖类型区干旱指数 5 年滑动平均序列线性回归结果

Tah 3 Linear regression results of 5-year moving  
average of SPI serial for every land cover type region in 12 months

月份	草原区			农作物区			落叶阔叶林带		
	C	I	P	C	I	P	C	I	P
1	-1.01	29.58	-0.069	0.11	1.28	0.02	0.36	12.19	-0.199
2	0.54	-15.22	0.284	-0.00	0.5	-0.001	0.16	-4.06	0.079
3	-0.49	9.83	-0.209	-0.40	9.81	-0.191	-0.21	3.57	-0.092
4	-0.25	4.31	-0.125	-0.91	22.32	-0.398**	-0.65	15.28	-0.357*
5	0.62	-15.5	0.291	0.12	-1.92	0.058	-0.22	5.47	-0.111
6	1.05	-25.01	0.446**	0.62	-12.43	0.297*	0.18	-2.82	0.083
7	0.62	-12.76	0.407**	0.20	-4.54	0.112	-0.49	13.64	-0.315*
8	-0.27	9.87	-0.135	-1.37	33.68	-0.571**	-1.20	30.80	-0.598**
9	-0.56	16.46	-0.279	-1.85	45.48	-0.719**	-1.82	46.61	-0.763**
10	-0.47	11.62	-0.254	-1.84	44.89	-0.751**	-1.52	37.34	-0.696**
11	-0.12	0.99	-0.68	-0.53	11.68	-0.305*	-1.15	26.60	-0.540**
12	-0.18	0.26	-0.81	0.14	-6.61	0.067	-0.47	9.07	-0.226

注：C：线性回归方程系数（ $10^{-2}$ ）；I：线性回归方程截距（ $10^{-2}$ ）；P：Pearson 相关系数；\*：显著性水平为 0.05；\*\*：显著性水平为 0.01。

中部阔叶林带的干旱变化趋势和农作物区相似，秋季干旱加重的趋势大于春季，且下半年平均干旱加重的趋势超过农作物区。该区 4 月份干旱变化趋势不如农作物区明显，但 7~12 月均表现出显著的干旱加重趋势，平均显著性水平为研究区最高，7 月 SPI 滑动平均序列线性回归显著性水平也达到了 95%。

4 结论与讨论

本文利用标准化降水指数作为干旱的评价因子，对 1960~2008 年华北不同地表覆盖类型区在整个时间序列上的干旱演变特征进行分析，得出以下主要结论：

- (1) 1960~2008 的 49 年间，华北及其北部草原区平均干旱强度和频率呈逐渐加重的趋势，全区的干旱指数 SPI 值平均每年以 1.42% 的速度减小。对比草原区、阔叶林带、农作物区 3 个地表类型区域的干旱指数年际序列特征发现，80 年代以后的湿润年份北部草原区的降水量大于研究区平均水平，而南部农作物区则在干旱年份的干旱程度更加严重，SPI 值低于全区平均水平，中部阔叶林带的干旱变化趋势和特征基本和研究区平均水平一致。
- (2) 研究区全年 12 个月份的干旱演变特征也不相同，表现出降水季节分配不均匀现象加重的趋势。即夏季的 6、7 月降水较历史时期增多，洪涝灾害发生的概率升高，春旱（4 月）、秋旱（9 月和 10 月）发生的概率增大，尤其是秋旱在整个历史时期表现出非常明显的加重趋势，对华北地区主要农作物（尤其是夏玉米）的影响更加严重。
- (3) 北部草原区在整个历史时期的干旱变化趋势不如南方农作物区和中部阔叶林带

明显, 相比这两个区域草原区在 6 月、7 月 *SPI* 增大的趋势最显著。南部农作物区则降水量的月份分布更加不均匀, 农作物区在秋季 9 月、10 月干旱加重的趋势为研究区最高, 黄淮海平原区的主要粮食作物夏玉米将越来越受到秋旱的威胁, 防旱抗旱形势重于冬小麦面临的春旱。同时由于秋旱的强度和频率增加, 对冬小麦的秋种也将产生越来越严重的影响, 农业管理部门应进一步加强秋种的预防和保障措施。阔叶林带的干旱演变特征和农作物区相似, 同样面临春旱和秋旱加重的威胁, 且整个下半年干旱状况呈加重的趋势, 阔叶林带在各月份 *SPI* 滑动平均序列的平均线性回归显著性水平为研究区最高。

本文采用标准化降水指数, 以月为最小的时间单位, 对华北及其北部草原区近 49 年的干旱演变特征进行分析, 突破了以往以年度或者季度为时间尺度的干旱趋势分析, 进一步揭示出不同季度中各月份降雨量分配的变化趋势, 没有考虑跨月份发生的干旱事件。相关的研究成果表明, 气温升高、500 hPa 大气环流场特征的变化和西伯利亚高压指数与中高纬度的天气和气候变化及华北地区的降水有显著的相关关系, 这些因素的变化在一定程度上解释了华北干旱的演变特征。补充温度和气候指数进一步分析华北地区干旱演变的成因机制和演化过程是下一步研究需要开展的工作。

#### 参考文献:

- [1] Wilhite D A. Drought as a nature hazard: Concepts and definitions. In: Wilhite D A. Drought: A Global Assessment. Routledge: London & New York, 2000. 3~4.
- [2] 姚玉璧, 张存杰, 等. 气象、农业干旱指标综述. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 185~211.
- [3] 马宗晋. 中国重大自然灾害及减灾对策(总论). 北京: 科学出版社, 1994. 5~6.
- [4] 张强, 潘学标, 马柱国. 干旱. 北京: 气象出版社, 2009. 1~2.
- [5] 李克让, 尹思明, 沙万英. 中国现代干旱灾害的时空特征. 地理研究, 1996, 15(3): 6~15.
- [6] 闫峰, 王艳姣, 吴波. 近 50 年河北省干旱时空分布特征. 地理研究, 2010, 29(3): 423~429.
- [7] Wilhite D A. Drought planning: A process for state government. Water Resources Bulletin, 1991, 27(1): 19~38.
- [8] Tannehill I R. Drought: Its Causes and Effects. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1947.
- [9] Wilhite D A, Glantz M H. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International, 1985, 10(3): 111~120.
- [10] Organization W M. Drought and agriculture. World Meteorological Organization, 1975. 127.
- [11] 张力斐, 夏淑密. 唐山地区干旱演变特征分析. 水文, 2010, 30(1): 93~96.
- [12] 马柱国, 符凉斌. 1951~2004 年中国北方干旱化的基本事实. 科学通报, 2006, 51(20): 2429~2439.
- [13] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology. Meteorological Society, 1993. 179~184.
- [14] Hayes M J, Svodoba M D, et al. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American Meteorological Society, 1999, 80(3): 429~438.
- [15] Guttman N B. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 1999, 35(2): 311~322.
- [16] Moreira E E, Coelho C A, Paulo A A. SPI-based drought category prediction using loglinear models. Journal of Hydrology, 2008, 354: 116~130.
- [17] Livada I, Assimakopoulos V D. Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). Theoretical and Applied Climatology, 2007, 89(3-4): 143~153.
- [18] Agnew C T. Using the SPI to identify drought. drought Network News, 2000, 12(1): 6~12.
- [19] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与 *Z* 指数在我国应用的对比分析. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523~529.
- [20] 冶明珠, 李林, 王振宇. SPI 指数在青海东部地区干旱监测中的应用及检验. 青海气象, 2007, (4): 21~24.
- [21] 李伟光, 陈汇林, 朱乃海, 等. 标准化降水指标在海南岛干旱监测中的应用分析. 中国生态农业学报, 2009, 17(1):

178~182.

- [22] 郑度,李炳元. 中国生态地理区域系统研究. 北京:商务印书馆,2008. 133~190.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 标准编号气象干旱等级,//中华人民共和国国家标准 GB/T 20481-2006. 北京:2006. 50~51.
- [24] 魏凤英,曹鸿兴,王丽萍. 20 世纪 80~90 年代我国气候增暖的统计事实. 应用气象学报,2003,14(1):79~86.
- [25] 赵声蓉,宋正山. 华北汛期旱涝与中高纬度大气环流异常. 高原气象,1999,18(4):535~540.
- [26] 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. 2007,26(2):319~325.

## Drought evolution of different land cover regions in North China

ZHOU Lei<sup>1, 2, 3</sup>, WU Jian-jun<sup>1, 2</sup>, LÜ Ai-feng<sup>4</sup>, ZHANG Jie<sup>1, 2</sup>, ZHAO Lin<sup>1, 2</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, MOCA/MOE, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China; 4. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Ten-day precipitation datasets of the meteorological observation stations in the study area from 1960 to 2008 were used to calculate multi-scale (1 month, 3 months and 12 months) Standardized Precipitation Index (SPI) sequences. The long-time scale evolution cycle and extent of the drought in the study area and three kinds of major land type area, i. e., grassland, cropland and broad-leaved forest land are analyzed by applying moving average and moving standard deviation to SPI historical sequence. The variation and tendency of drought throughout the historical period were analyzed using linear regression method and the trend of line was forecasted. The characteristic differences of the tendency of drought for the three sub-regions were compared in 12 months. The result showed that the intensity and frequency of drought had a gradually serious trend and each month had a greater difference in tendency of drought. June and July had more precipitation than the historical period and the trends of drought in spring (April) and autumn (September and October) are more obvious. During the entire historical period, changing trend of drought in the grassland area is not as obvious as that in cropland of the southern study area and broad-leaved forest land of the central study area. The drought tendency of cropland is obvious in September and October. Summer corn in Huang-Huai-Hai Plain are faced with the threat of more and more autumn droughts, and the situation of droughts is more serious than that of the spring drought posing to winter wheat. The drought will exert greater impact on the autumn sowing for winter wheat.

**Key words:** drought; SPI; evolution tendency; moving average; moving standard deviation