

基于SPI指数的1981—2010年内蒙古地区 干旱时空分布特征

周扬^{a,c}, 李宁^{a,b,c*}, 吉中会^{a,c}, 顾孝天^{a,c}, 范碧航^{a,c}

(北京师范大学 a.地表过程与资源生态国家重点实验室, b.环境演变与自然灾害教育部重点实验室,
c.民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京100875)

摘要: 依据内蒙古地区47个地面观测站1981—2010年降水资料, 采用标准化降水指数(SPI)作为干旱指标, 分析了内蒙古地区年度和四季干旱发生的频率、干旱强度和站次比(发生干旱站数与总站数之比)的演变特点。结果表明: 年度、秋季和冬季干旱强度变化趋势不明显, 春、夏季干旱强度呈显著上升的趋势; 近30 a来年尺度上干旱强度表现为轻度干旱, 四季干旱强度以轻度干旱为主; 年、季尺度上干旱发生的覆盖范围为局域性干旱和区域性干旱; 内蒙古东北部呼伦贝尔盟是年度干旱、中旱、重旱与特旱发生频率最高地区, 而西部阿拉善盟地区干旱、中旱、重旱和特旱发生的频率相对较低; 从季节上来看, 内蒙全区春、冬季干旱(含中、重和特旱)发生频率较为一致, 表现为西部及西南部地区干旱发生的频率较低, 而东部、中部、北部地区干旱发生的频率相对较高。

关键词: 干旱; 标准化降水指数(SPI); 内蒙古地区

中图分类号: P426.616 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2013)10-1694-13
DOI: 10.11849/zrzyxb.2013.10.005

由于我国受季风气候和地形等因素的影响造成水热分布不均, 从而导致了干旱的频繁发生。干旱危及人类的生存环境, 水资源匮乏、沙漠化等诸多问题都是干旱发展的具体表现^[1]。干旱作为最严重的气象灾害之一, 已经对我国社会经济和人们生活造成严重影响^[2]。美国每年因干旱造成的经济损失约 $60 \times 10^8 \sim 80 \times 10^8$ 美元^[3]。据统计, 2002—2011年, 我国因旱灾造成的农作物受灾面积约 18.83×10^8 hm², 绝收面积约 0.28×10^8 hm²^[4]。近年来, 在全球气候变暖背景下, 水循环加强, 极端气候事件增多, 表现在干旱发生频率和强度呈明显增加趋势^[5]。

中国北方地区干旱化问题一直是学术界关注的焦点, 特别是对华北、西北两个典型干旱区的研究备受关注^[1]。对中国北方干旱的研究主要集中于干旱演变特征、成因及干旱化存在的问题^[5-10]。虽然学术界对北方干旱化的成因、特点和趋势进行了大量的分析, 但目前已有对北方干旱的研究大多是从区域的角度来分析, 而从更小的尺度分析局地干旱的研究不多, 特别是地处高纬、降水少的内蒙古地区, 对其年度和季节性干旱演变特征的分析鲜有报道。已有研究表明, 1959—1999年间内蒙古大部分地区降水量有增加趋势

收稿日期: 2012-07-19; 修订日期: 2013-01-30。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171401); 科技部国际合作项目(2012DFG20710); 国家重大科学研究计划(2012CB955402)。

第一作者简介: 周扬(1984-), 男, 贵州普安人, 博士研究生, 主要从事自然灾害风险管理研究。E-mail: yzhou@mail.bnu.edu.cn

*通信作者简介: 李宁(1958-), 女, 江苏镇江人, 教授, 主要从事自然灾害研究。E-mail: ningli@bnu.edu.cn

[11]; 内 蒙 古 地 区 降 水 有 明 显 的 时 空 差 异, 表 现 为 20 世 纪 60 年 代 大 范 围 偏 少, 70 年 代 东 部 偏 少, 80 年 代 东 部 偏 多、中 西 部 偏 少, 90 年 代 全 区 降 水 偏 多, 而 21 世 纪 以 来, 内 蒙 古 东 部 及 东 北 部 地 区 降 水 严 重 偏 少^[12]。此外, 内 蒙 古 地 区 干 旱 发 生 频 率 高, 农 作 物 受 灾 严 重^[13]。因此, 分 析 近 几 十 年 来 内 蒙 古 地 区 干 旱 发 生 频 率、强 度 以 及 干 旱 范 围 对 其 应 对 未 来 气 候 变 化 具 有 重 要 的 实 际 意 义。

对 干 旱 评 价 指 标 已 有 大 量 的 研 究^[14-15]。干 旱 成 因 复 杂, 受 多 个 因 素 的 影 响, 评 价 指 标 的 适 用 性 受 研 究 区 域 和 时 间 尺 度 的 限 制^[5,16]。目 前 研 究 气 象 干 旱 的 指 标 主 要 有 相 对 湿 润 指 数^[1]、Z 指 数^[2]、标 准 化 降 水 指 数^[16-18]、帕 默 尔 干 旱 指 数^[19-20]、综 合 气 象 干 旱 指 数^[21]等, 并 利 用 这 些 指 标 对 各 地 干 旱 的 时 空 变 化 规 律 进 行 了 研 究。其 中, 标 准 化 降 水 指 数 采 用 Γ 分 布 概 率 来 描 述 降 水 量 的 变 化, 其 计 算 简 单, 可 消 除 降 水 的 时 空 差 异, 对 干 旱 变 化 反 应 敏 感, 能 很 好 地 反 映 不 同 区 域 和 时 段 的 干 旱 状 况。因 此, 本 文 选 取 SPI 指 数 作 为 气 象 干 旱 分 析 指 标, 从 干 旱 发 生 频 率、干 旱 站 次 比 和 干 旱 强 度 三 个 方 面 分 析 1981—2010 年 内 蒙 古 地 区 干 旱 的 时 空 演 变 规 律, 可 为 应 对 全 球 变 化 背 景 下 进 行 干 旱 监 测、预 警 和 防 旱 减 灾 工 程 提 供 依 据。

1 资料与方法

1.1 资料

本 文 使 用 内 蒙 古 自 治 区 1981—2010 年 逐 月 观 测 资 料 计 算 标 准 化 降 水 指 数。所 有 数 据 均 来 自 中 国 气 象 资 料 共 享 服 务 网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)。对 内 蒙 古 地 区 从 中 国 气 象 资 料 共 享 服 务 网 目 前 可 收 集 到 50 个 地 面 气 象 观 测 站 的 观 测 资 料。为 了 保 证 资 料 的 完 整 性, 剔 除 50 个 站 点 中 缺 测 较 多 的 站, 选 用 其 中 47 个 站 点 近 30 a 来 的 逐 月 气 象 观 测 资 料, 对 其 中 个 别 缺 测 的 值 采 用 均 值 进 行 代 替。所 用 47 个 地 面 观 测 站 分 布 于 内 蒙 古 地 区 的 12 个 盟(市)间(除 乌 海 市 外), 其 中 内 蒙 古 中 部 地 区 台 站 较 为 密 集, 东 部 及 西 部 观 测 站 相 对 稀 疏。

1.2 研究方法

根 据 《气 象 干 旱 等 级 GB/T 20481—2006》国 家 标 准 的 定 义, 标 准 化 降 水 指 数(SPI)是 表 征 某 时 段 降 水 量 出 现 概 率 多 少 的 指 标, 其 适 用 于 月 以 上 尺 度 相 对 于 当 地 气 候 状 况 的 干 旱 监 测 与 评 估。SPI 采 用 Γ 分 布 概 率 来 描 述 降 水 量 的 变 化, 将 偏 态 概 率 分 布 的 降 水 量 进 行 正 态 标 准 化 处 理, 最 终 用 标 准 化 降 水 累 积 频 率 分 布 来 划 分 干 旱 等 级。SPI 计 算 公 式 如 下:

$$SPI = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0} \quad (1)$$

式 中: $t = \sqrt{\ln \frac{1}{G(x)}}$, $G(x)$ 为 与 Γ 函 数 相 关 的 降 水 分 布 概 率; x 为 年 或 季 降 水 量 样 本; S 为 概 率 密 度 正 负 系 数。

当 $G(x) > 0.5$ 时, $S = 1$; 当 $G(x) \leq 0.5$ 时, $S = -1$ 。 $G(x)$ 由 Γ 分 布 函 数 概 率 密 度 积 分 公 式 计 算:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \int_0^x x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} dx, \quad x > 0 \quad (2)$$

式 中: γ 、 β 分 别 为 Γ 分 布 函 数 的 形 状 和 尺 度 参 数; c_0 、 c_1 、 c_2 和 d_1 、 d_2 、 d_3 分 别 为 Γ 分 布 函 数 转 换 为 累 积 频 率 简 化 近 似 求 解 公 式 的 计 算 参 数, 其 中 $c_0 = 2.515 517$, $c_1 = 0.802 853$, $c_2 =$

0.010 328, $d_1=1.432\ 788$, $d_2=0.189\ 269$, $d_3=0.001\ 308$ 。

根据上述方法计算出年和季为尺度的标准化降水指数(SPI3),并按《气象干旱等级 GB/T 20481—2006》中的分级标准分为特旱($SPI3 \leq -2.0$)、重旱($-2.0 < SPI3 \leq -1.5$)、中旱($-1.5 < SPI3 \leq -1.0$)、轻旱($-1.0 < SPI3 \leq -0.5$)和无旱($-0.5 < SPI3$)。

1.3 干旱评价指标

本文从干旱发生频率、干旱站次比和干旱发生的强度三个方面评价内蒙古地区近30 a的干旱特征,各具体指标解释如下^[16]:

(1) 干旱频率(P_i):用于评价某站有资料年份内发生干旱频率程度,计算公式为:

$$P_i = n/N \times 100\% \quad (3)$$

式中: N 为某站有气象资料的年数, n 为该站发生干旱的总年数。可按不同程度的干旱发生年数计算不同程度干旱频率。为了便于比较,本文把轻旱(含轻旱以上)发生的年份均算为干旱,中旱(含中旱以上)发生的年份均记为中旱,重旱(含重旱以上)发生的年份记为重旱,特旱发生的年份记为特旱。

(2) 干旱站次比(P_j):用某一区域内干旱发生站数多少占全部站数的比例来评价干旱影响范围的大小,计算公式为:

$$P_j = m/M \times 100\% \quad (4)$$

式中: M 代表研究区总气象站数(本文中 $M=47$); m 为发生干旱的站数; j 代表不同年份。 P_j 表示一定区域干旱发生范围的大小,间接反映干旱影响范围的严重程度,其中, $P_j \geq 50\%$ 时,表示研究区域内有一半以上的站发生干旱,为全域性干旱;当 $50\% > P_j \geq 33\%$ 时为区域性干旱;当 $33\% > P_j \geq 25\%$ 时为部分区域性干旱;当 $25\% > P_j \geq 10\%$ 时为局域性干旱;当 $P_j < 10\%$ 时为无明显干旱发生^[16]。

(3) 干旱强度(S_{ij}):用于评价干旱的严重程度,单站某时段内的干旱强度可由SPI值反映,计算公式为:

$$S_{ij} = \left| \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m SPI_i \right| \quad (5)$$

式中: m 为该区域内发生干旱的站数, SPI_i 为发生干旱时SPI的绝对值。当 $S_{ij} < 0.5$ 时干旱强度不明显; $1 > S_{ij} \geq 0.5$ 为轻度干旱;当 $1.5 > S_{ij} \geq 1$ 时为中度干旱;当 $S_{ij} \geq 1.5$ 时为重度干旱。

2 结果分析

2.1 内蒙古地区年度干旱特征

基于研究区47个地面气象站近30 a来SPI3指数所得到的各站点干旱频率,干旱(含轻旱及其以上)发生的频率在25.04%~32.99%之间。根据所计算的干旱发生频率,使用ArcGIS 10.0中克里格方法(Kriging)得到研究区干旱频率分布图。由图1可知,内蒙古大部分地区干旱发生频率相对较高,其西南部地区如阿拉善盟、乌海市部分地区干旱发生的频率相对较低[图1(a)];中旱发生频率相对较高的地区有呼伦贝尔盟、兴安盟、乌兰察布盟东部和锡林郭勒盟西南部及南部地区,西南部的阿拉善盟、巴彦淖尔盟、包头市和伊克昭盟部分地区中旱发生频率相对较低[图1(b)];重旱发生频率较高的地区有呼伦贝尔盟、锡林郭勒盟大部分地区、赤峰市西部少数地区及伊克昭盟东部地区,阿拉善盟、

乌海市和哲里木盟等地区重旱发生的频率较低[图1(c)]; 特旱发生的频率在0.91%~2.14%之间, 其中呼伦贝尔盟地区特旱发生的频率相对较高, 约为2.13%, 内蒙古西部大部分地区特旱发生的频率相对较低[图1(d)]. 可见, 呼伦贝尔盟地区干旱、中旱、重旱和特旱发生频率最高, 而研究区西南部阿拉善盟地区各种干旱发生频率相对较低. 呼伦贝尔盟地区由于发生各种干旱的频率较高, 有关部门应采取相应的防旱抗旱措施, 以减轻旱灾损失.

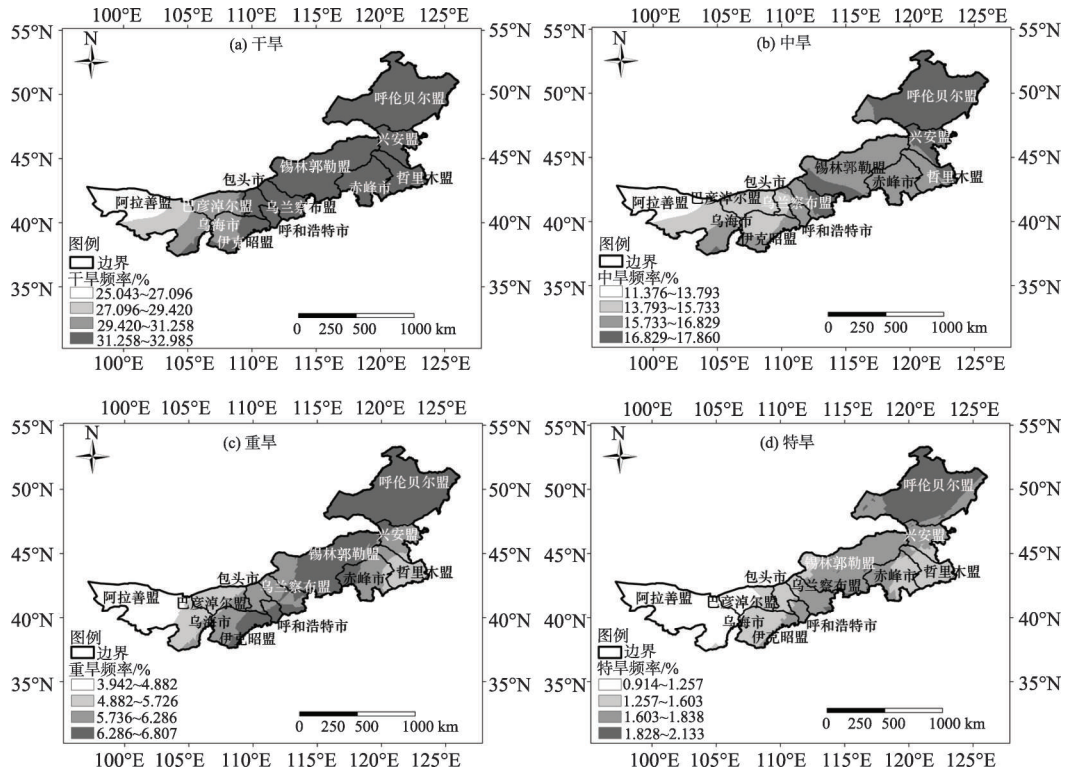


图1 内蒙古地区干旱频率分布

Fig. 1 Drought frequency distribution in Inner Mongolia

从干旱的站次比或覆盖范围来看(图2), 研究区近30 a中站次比在15.96%~50.71%之间. 根据干旱站次比的判断标准, 仅有2001年研究区干旱的站次比大于等于50%, 研究区发生过全域性干旱, 近30 a中有13 a发生过区域性干旱($50% > P_i \geq 33%$), 分别是1982、1986、1989、1995、1997、1999、2000、2002、2004—2007和2009年, 约占43.33%; 20世纪80年代和90年代分别有6 a和4 a发生过部分区域性干旱($33% > P_i \geq 25%$), 分别是1981、1983—1985、1987—1988、1991、1993—1994和1996年; 20世纪80年代以来有6 a发生过局域性干旱($25% > P_i \geq 10%$), 分别是1990、1992、1998、2003、2008和2010年. 综上, 研究区区域性干旱在20世纪80年代、90年代和21世纪均有发生, 部分区域性干旱发生在20世纪80年代和90年代, 20世纪90年代和21世纪初发生过局域性干旱; 近30 a来, 研究区干旱发生的覆盖范围有轻微缩小的趋势, 主要以区域性干旱和局域性干旱为主.

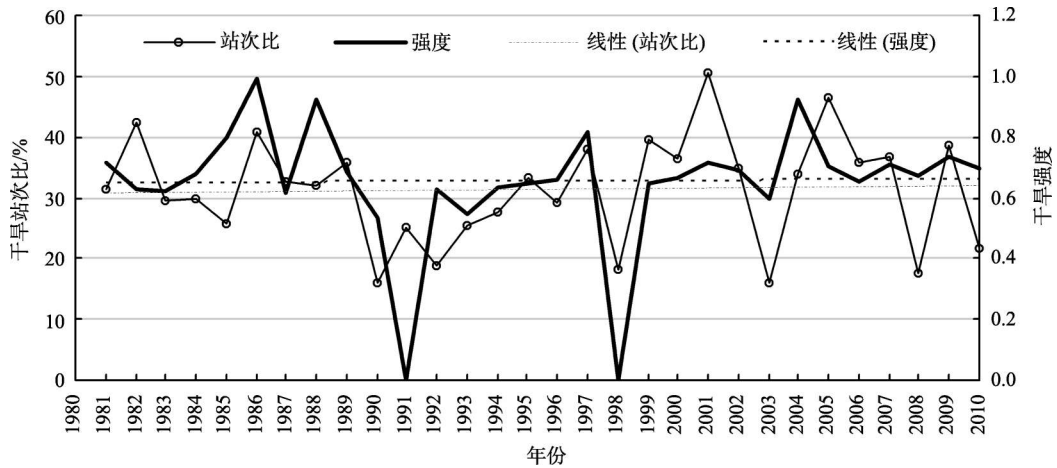


图2 1981—2010年内蒙古地区干旱强度和站次比

Fig. 2 Drought intensity and drought stations proportion in Inner Mongolia over the period 1981 – 2010

从干旱强度来看(图2), 近30 a来研究区干旱强度值在0~0.993之间, 所有年份基本属于轻度干旱, 相对而言1986年干旱强度较高, 而1991年和1998年干旱强度相对较低, 总体干旱强度变化趋势不明显。

2.2 内蒙古地区季节性干旱特征

2.2.1 春旱

研究区1981—2010年春旱发生的频率在14.82%~34.78%之间, 春季干旱发生的频率与年度干旱发生的频率大致相同, 其中除阿拉善盟、乌海市西部及巴颜淖尔盟西部部分地区春季干旱发生的频率较低外, 其余地区干旱发生的频率较高[图3(a)]; 春季中旱发生的频率在2.85%~20.22%之间, 其中呼伦贝尔盟地区、赤峰市、锡林郭勒盟部分地区和乌海市北部等地区春季中旱发生的频率相对较高(16%~20%之间), 阿拉善盟、伊克昭盟西北部地区春季中旱发生的频率较低, 仅在2.85%~8.71%之间[图3(b)]; 春季重旱发生的频率在1.51%~7.81%之间, 其中呼伦贝尔盟、兴安盟、哲里木盟、赤峰市、锡林郭勒盟大部分地区春季重旱发生的频率相对较高, 阿拉善盟地区春季重旱发生的频率相对较低[图3(c)]; 春季特大干旱发生的频率在0.12%~3.00%之间, 其中伊克昭盟西部和东部、锡林郭勒盟东南部地区春季特大干旱发生的频率相对较高, 约在2%~3%之间, 阿拉善盟、乌海市、赤峰市、哲里木盟和锡林郭勒盟西南部地区春季特大干旱发生的频率相对较低[图3(d)]。可见, 春季在伊克昭盟西部和东部、锡林郭勒盟东南部地区应该做好适当的防旱抗旱措施。

从春季站次比和干旱强度来看, 近30 a来研究区站次比有明显减少的趋势, 减少速率为3.17%/10 a ($R^2=0.03$)。自从1981年以来, 研究区在1986、1994—1995和2001年有过一半以上的气象站点发生干旱, 即全域性干旱($P_j \geq 50\%$), 春季发生的全域性干旱可能对全年的干旱有一定的影响, 所以出现2001年春季和全年都发生了全域性干旱; 1983—1984、1987、1989、1993、1997、2000、2004—2006年10 a中春季发生过区域性干旱($50\% > P_j \geq 33\%$); 1982、1988、1996、1999、2003、2009年6 a中春季发生过部分区域性干旱; 1981、1985、1990—1992、1998、2002和2008年春季发生过局域性干旱; 2007年

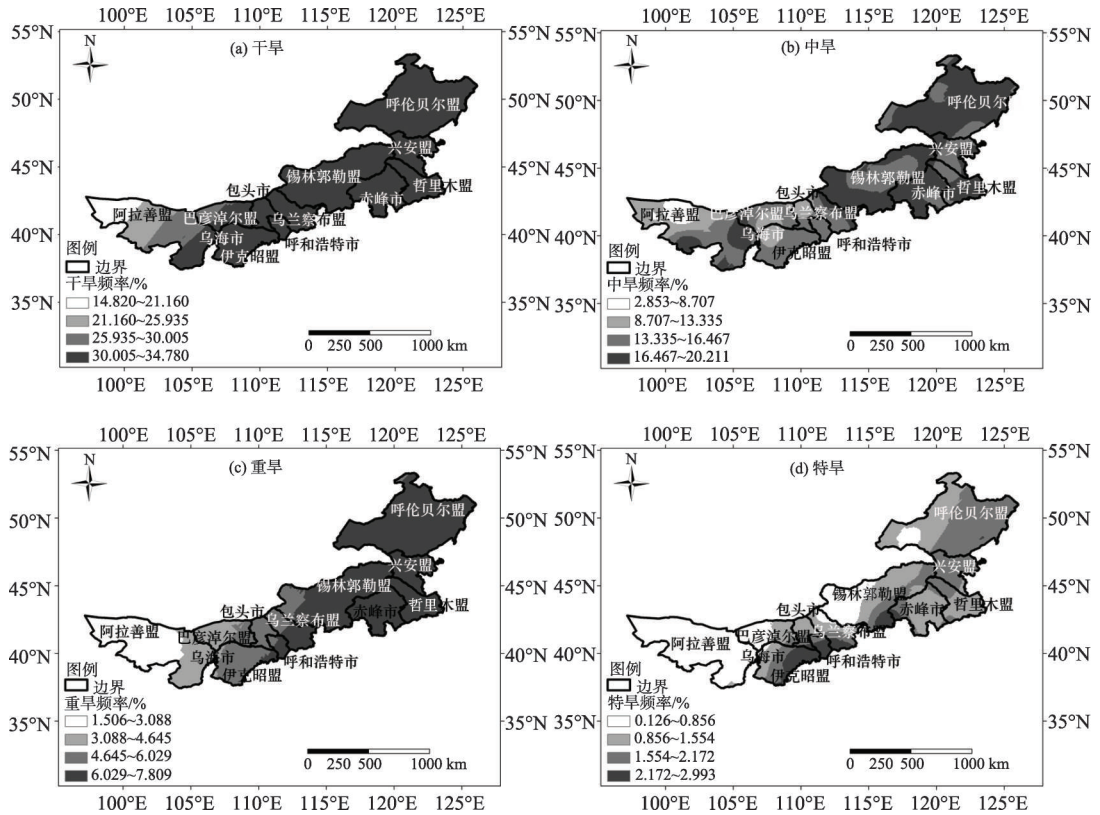


图3 内 蒙 古 地 区 春 旱 频 率 分 布

Fig. 3 Frequency distribution of spring drought in Inner Mongolia

和2010年研究区春季没有发生明显的干旱。在干旱强度上, 研究区春季干旱强度值在0~1.24之间波动, 其波动曲线大致与站次比曲线一致, 即站次比较高的年份干旱强度亦强[图4(a)]。根据干旱强度的分级可知, 1981、1993、1995、2003和2004年研究区春季发生过中度干旱, 此外, 除2008年和2010年无明显干旱发生外, 其余年份均为轻度干旱[图4(a)]。综上, 研究区近30 a来春旱发生的覆盖范围呈明显的减少趋势, 20世纪80、90年代和21世纪初均发生过区域性和局域性春旱; 近30 a中春季发生轻度和中度干旱的比例分别为76.67%和16.67%; 阿拉善盟是春季干旱、中旱、重旱和特旱发生频率相对较低的地区。

2.2.2 夏旱

研究区夏旱发生的频率在29.58%~33.88%之间, 其中内蒙古中部的锡林郭勒盟、赤峰市和哲里木盟中南部地区夏季干旱发生的频率较高, 巴彦淖尔盟、兴安盟地区夏旱发生的频率最低[图5(a)]; 夏季呼伦贝尔盟大部分地区、阿拉善盟西部和北部小部分地区及乌兰察布盟东南部地区中旱发生的频率在18.3%~20.20%之间, 而锡林郭勒盟西北部、伊克昭盟、乌海市东部及赤峰市东南部地区夏季中旱发生的频率(14.28%~16.28%)相对较低[图5(b)]; 与研究区夏季干旱和中旱发生的频率相比, 重旱发生的高频率区在空间上有所分散, 比如干旱和中旱发生频率相对较低的阿拉善盟西部和南部、伊克昭盟大部分地区夏季重旱发生的频率相对较高[图5(c)]; 兴安盟、呼伦贝尔盟中南部地区夏季特旱发生频率相对较高, 锡林郭勒盟西部和阿拉善盟西部地区夏季特旱发生的频率相对较低[图5(d)]。

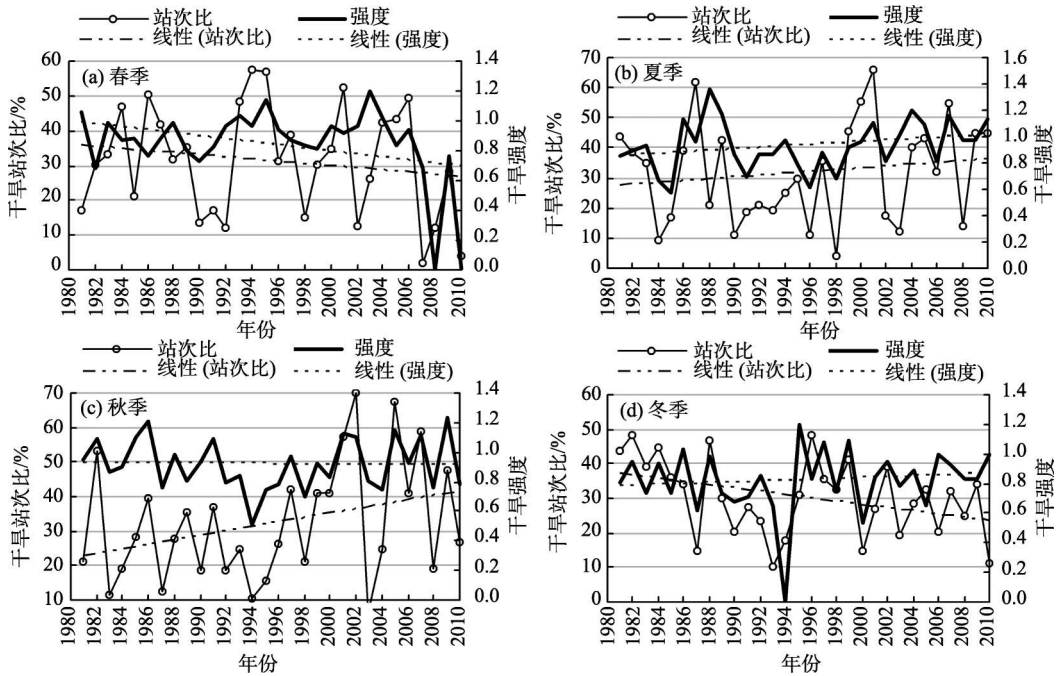


图4 1981—2010年内蒙古地区四季干旱站次比和干旱强度变化

Fig. 4 Seasonal drought intensity and drought stations proportion in Inner Mongolia over the period 1981 - 2010

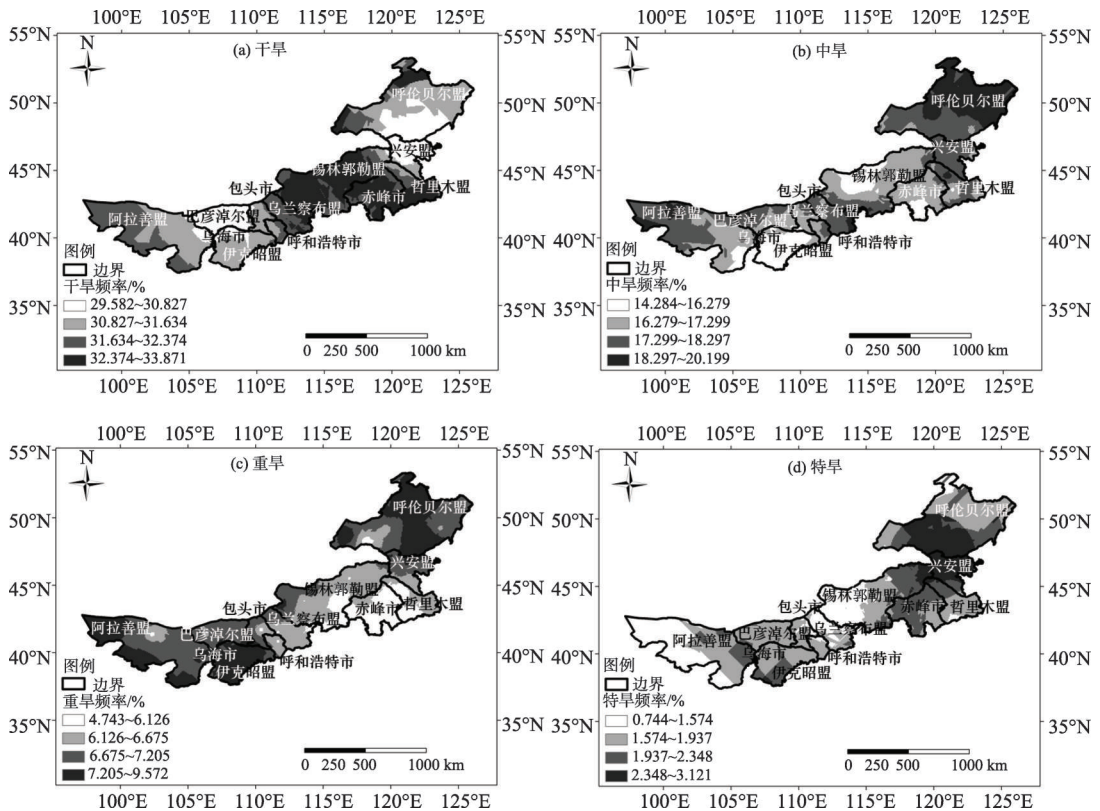


图5 内蒙古地区夏旱频率分布

Fig. 5 Frequency distribution of summer drought in Inner Mongolia

就研究区夏季站次比和干旱强度而言, 近30 a来夏季站次比与干旱强度的波动趋势基本一致[图4(b)]。夏季站次比在4.26%~65.96%之间, 其中1987、2000—2001和2007年内蒙古地区夏季一半以上的站点发生了干旱, 即为全域性干旱; 1981—1983、1986、1989、1997、1999、2004—2005和2009—2010年11 a夏季发生了区域性干旱; 1995和2006年研究区夏季发生过部分区域性干旱; 1985、1988、1990—1994、1996、2002—2003和2008年夏季发生过局域性干旱; 1984年和1998年研究区夏季没有观察到明显的干旱发生。在干旱强度上, 近30 a来研究区夏季干旱强度值在0.58~1.35之间, 没有发生重度干旱的年份, 其中1986、1988—1989、2001、2003—2005、2007和2010年夏季的干旱强度为中度干旱, 其余21 a为轻度干旱年[图4(b)]。可见, 与春季类似, 近30 a来研究区夏旱以局域性干旱(占36.67%)和区域性干旱(36.67%)为主, 强度主要表现为轻度干旱(占70%)和中度干旱(占30%)。

2.2.3 秋旱

研究区秋旱发生的频率约在30%左右, 其中秋旱发生频率相对较高(约在32.84%~33.84%之间)的地区位于哲里木盟、赤峰市南部、呼伦贝尔盟东部及阿拉善盟东北部地区, 其次是阿拉善盟中部、南部、北部地区和呼伦贝尔盟中部、南部部分地区, 而锡林郭勒盟、呼伦贝尔盟西北部地区秋旱发生的频率相对较低(约在30.74%~31.79%之间) [图6(a)]; 近30 a来, 研究区秋季中旱发生的频率在15.55%~17.49%之间, 其中阿拉善盟大部分地区、伊克昭盟、乌海市和巴彦淖尔盟部分地区秋季中旱发生的频率相对较高, 赤峰市南部、呼伦贝尔盟西北部地区中旱发生的频率相对较低[图6(b)]; 内蒙古秋季重旱发

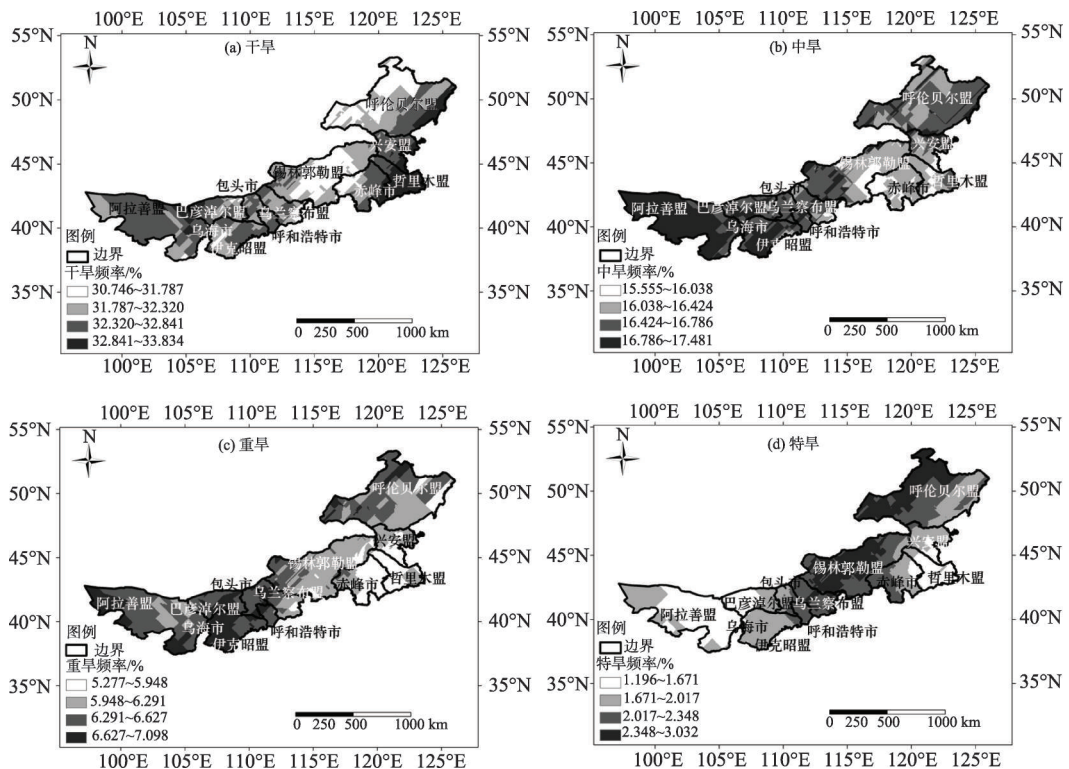


图6 内蒙古地区秋旱频率分布

Fig. 6 Frequency distribution of autumn drought in Inner Mongolia

生频率与中旱发生频率基本一致,内蒙古西南部部分地区发生重旱的频率相对较高,大约在6.62%~7.10%之间,而东部哲里木盟地区重旱发生的频率相对较低[图6(c)];发生特旱的高频率区(在2.34%~3.04%之间)主要集中于锡林郭勒盟大部分地区、呼伦贝尔盟西部及西北部地区,哲里木盟南部、阿拉善盟中部及北部地区秋季特旱发生的频率相对较低[图6(d)]。

从干旱发生的范围和强度来看[图4(c)],研究区近30 a来秋季站次比呈显著增加的趋势,增长速率为6.59%/10 a ($R^2=0.115$),其中1982、2001—2002、2005和2007年研究区秋季发生过全域性干旱,即47个地面观测站中有一半以上的站点发生了干旱;30 a中有8 a(1986、1989、1991、1997、1999—2000、2006和2009年)在秋季发生了区域性干旱;1985、1988、1996和2010年研究区秋季发生过部分区域性干旱;近30 a中有12 a秋季发生了局域性干旱,分别在1981、1983、1984、1987、1990、1992—1995、1998、2004和2008年;2003年研究区在秋季没有观测到明显的干旱发生。内蒙古地区近30 a秋季的干旱强度值在0.513~1.239[图4(c)],其中有9 a干旱强度大于1,为中度干旱年,分别为1982、1985—1986、1991、2001—2002、2005、2007和2009年,其余21 a为轻度干旱年,没有观测到重度和没发生明显干旱强度的年份。可见,近30 a中内蒙古地区秋季主要以20世纪80年代、90年代和21世纪初的区域性干旱和20世纪80年代、90年代的局域性干旱为主,干旱强度表现为轻度和中度干旱。

2.2.4 冬旱

近30 a中内蒙古地区冬季干旱发生的频率在10.52%~40.65%之间,除阿拉善盟地区冬季发生干旱的频率相对较低外,其余盟(市)冬季干旱发生的频率较高[图7(a)];冬季中旱和干旱发生频率的高低区域在空间分布上基本一致,但中旱高频区有所扩张,内蒙古中部、东部及北部大部分地区冬季中旱发生的频率相对较高,发生频率在14.49%~19.00%之间,阿拉善盟西北部地区冬季中旱发生的频率相对较低[图7(b)];内蒙古中部、北部地区冬季重旱发生的频率相对较高,发生频率大于5%,而西部、西南部和东部小部分地区冬季重旱发生的频率相对较低[图7(c)];冬季特旱发生的频率小于2.73%,其中锡林郭勒盟、呼伦贝尔盟地区冬季特旱发生的频率相对较高,阿拉善盟、乌海市北部、巴彦淖尔盟北部和哲里木盟地区冬季特旱发生的频率相对较低[图7(d)]。可见,冬季内蒙古北部的呼伦贝尔盟地区干旱(含中、重和特旱)发生的频率最高,而西部及西南部的阿拉善盟、乌海市等地区干旱(含中、重和特旱)发生的频率相对较低。

从冬季内蒙古地区干旱发生的覆盖范围和强度来看,近30 a来内蒙古地区冬季干旱站次比呈显著减少的趋势,而干旱强度具有轻微增加的趋势[图4(d)]。冬季干旱站次比在9.93%~48.23%之间波动,近30 a中内蒙古地区冬季没有发生过全域性干旱;20世纪80年代(1981—1986、1988年)、90年代(1996—1997、1999年)和2000年代(2002、2009年)共12 a冬季发生过区域性干旱;1989、1991、1995、1998、2001、2004—2005、2007年共8 a冬季发生过部分区域性干旱;1987、1990、1992、1994、2000、2003、2006、2008和2010年共9 a冬季发生过局域性干旱;仅1993年没有观测到明显的干旱发生。从干旱强度来看,研究区近30 a来冬季干旱发生的强度在0~1.20之间,其中1986、1995、1997、1999和2010年干旱强度大于1.0,为中度干旱年,1994年冬季干旱发生的强度不明显,其余24 a冬季干旱强度在0.5~1.0之间,为轻度干旱年。综上,近30 a来研究区冬

季没有全域性干旱发生, 以区域性干旱(40%)、局域性干旱(30%)和部分区域性干旱(26.67%)为主, 干旱强度呈轻度(80%)和中度(16.67%)特征。

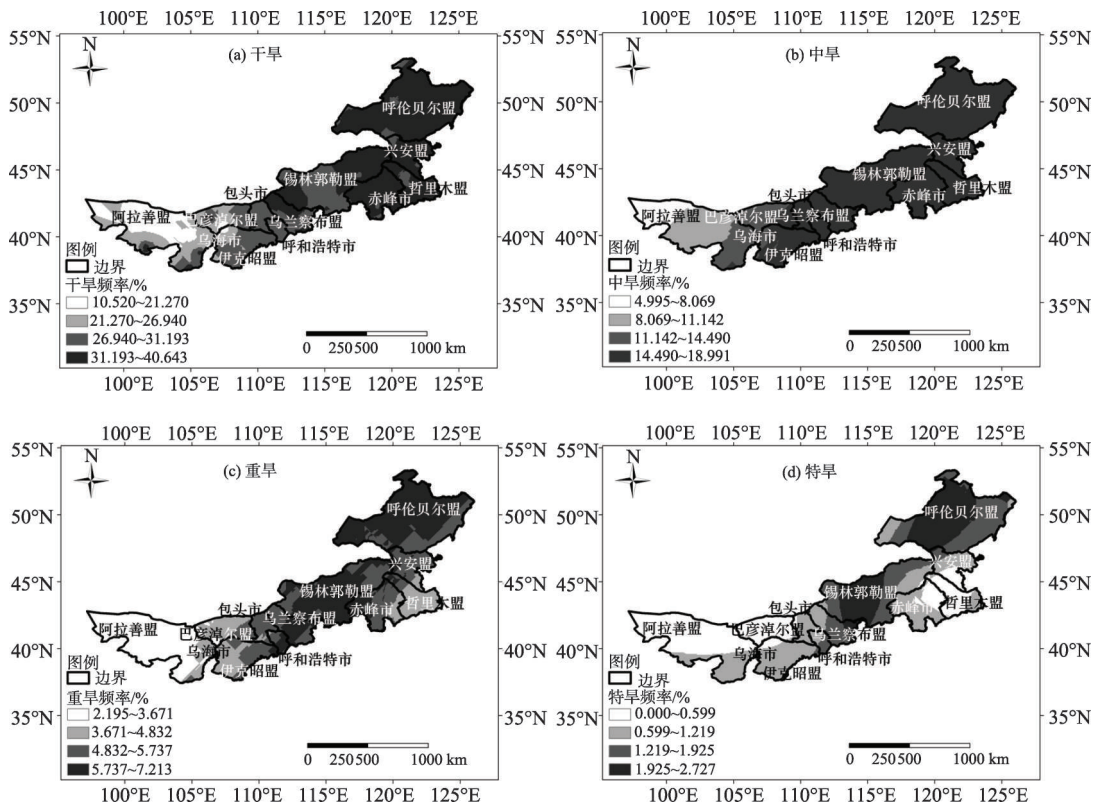


图7 内 蒙 古 地 区 冬 旱 频 率 分 布

Fig.7 Frequency distribution of winter drought in Inner Mongolia

另外, 结合上述分析可以看出, 哲里木盟、赤峰市东部及南部地区四季出现干旱的频率约在33%~40%之间; 内蒙古乌兰察布盟、锡林郭勒盟、赤峰市、哲理木盟南部及呼伦贝尔盟北部等地区出现春夏连旱的频率相对较高, 约在30%左右; 呼伦贝尔盟北部及东北部春夏两季连续出现中旱和重旱的频率也较高; 伊克昭盟西部、乌海市地区夏秋两季连续发生重旱的频率较高; 呼伦贝尔盟北部、锡林郭勒盟北部及西南部地区秋冬两季特旱连续发生的频率较高, 约在1.9%~3.0%之间; 赤峰市、哲里木盟、呼伦贝尔盟、兴安盟等地区冬春两季干旱连续发生的频率较高, 呼伦贝尔盟、锡林郭勒盟南部、哲里木盟南部及东部、赤峰市大部分地区冬春两季连续发生中旱的频率亦较高, 呼伦贝尔盟中部、北部及西部地区冬春两季连续发生重旱的频率亦较高。

总之, 内 蒙 古 地 区 干 旱 发 生 的 频 率 具 有 明 显 的 区 域 性 和 季 节 性。从 年 度 干 旱 发 生 的 频 率、强 度 和 覆 盖 范 围 来 看, 内 蒙 古 北 部 的 呼 伦 贝 尔 盟 地 区 干 旱 的 发 生 频 率 较 高, 近 30 a 来 干 旱 发 生 的 强 度 及 影 响 范 围 呈 轻 微 减 小 的 趋 势。在 季 节 上, 春、冬 两 季 干 旱 发 生 的 覆 盖 范 围 呈 减 少 趋 势, 夏、秋 两 季 干 旱 发 生 的 覆 盖 范 围 呈 增 加 趋 势; 春 季 干 旱 发 生 的 强 度 呈 减 小 趋 势, 其 余 季 节 干 旱 发 生 的 强 度 呈 轻 微 的 增 加 趋 势。

3 讨论与结论

本文在计算内蒙古地区1981—2010年47个地面气象站90 d(相当于季尺度)标准化降水指数(SPI3)的基础上,从干旱频率、干旱站次比或覆盖范围和干旱强度3个指标分析了近30年内蒙古地区年尺度和季尺度干旱的时空演变格局。结果表明:内蒙古东北部呼伦贝尔盟是年度干旱、中旱、重旱和特旱发生频率最高的地区,而西部阿拉善盟地区干旱、中旱、重旱和特旱发生的频率相对较低;从季节上来看,内蒙古地区春、冬季各种干旱(含中旱、重旱和特旱)发生的频率较为一致,表现为西部及西南部地区干旱发生的频率较低,而东部、中部、北部地区干旱发生的频率相对较高;秋季中旱、重旱发生频率的空间分布基本一致;夏季各种级别干旱发生的频率在空间上无规律性。从干旱频次和强度来看,近30 a中,年、季尺度上都以区域性干旱和局域性干旱为主;年尺度上干旱强度均表现为轻度干旱,四季70%以上的年份表现为轻度干旱为主,其次是中度干旱。

通过上述分析可知,内蒙古地区于2001年在年、季尺度上均发生了全域性干旱,1990、1992和2008年3 a中,年、季尺度上均发生了局域性干旱;1983—1984、1987、1990、1992、1996、2000和2006年8 a内蒙古地区年、季尺度上的干旱强度均表现为轻度干旱;1997年四季均发生过区域性干旱。可见,年度和季节性干旱发生的覆盖范围、干旱强度在时间上具有一致性。据此推测季节性干旱的发生对年尺度干旱有较大程度的影响。

基于SPI指数评价内蒙古地区干旱发生的强度和频率具有深刻的影响,评价结果可为该区制定应对未来气候变化措施提供科学依据,以期对干旱的应对和防御提供借鉴。然而,研究中存在一些不足,比如降水量对内蒙古西部地区干旱的影响并不十分明显,东部地区干旱强度的影响较大,而本研究仅以内蒙古地区的降水量为基础,分析该区干旱发生的强度和频率,未考虑连续无降水日及对土壤水分等诸多因素对干旱的影响。因此,结合区域的实际情况,有必要进一步采用连续无雨日、土壤相对湿度、降雨日数和温度等指标综合对内蒙古地区的干旱演变特征进行深入的研究。

参考文献(References):

- [1] 马柱国,符淙斌.中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析[J].气象学报,2001,59(6):737-746.[MA Zhu-guo, FU Cong-bin. Trend of surface humid index in the arid area of northern China. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(6): 737-746.]
- [2] 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[J].植物生态学报,2004,28(4):523-529.[YUAN Wen-ping, ZHOU Guang-sheng. Comparison between standardized precipitation index and Z-index in China. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(4): 523-529.]
- [3] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions [C]//Wilhite D A. Drought: A Global Assessment. London & New York, Routledge, 2000:3-18.
- [4] 中华人民共和国民政部.中国民政统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011.[Ministry of Civil Affairs of the People's Republic of China. China Civil Affairs's Statistical Yearbook. Beijing: China Statistical Press, 2011.]
- [5] 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.[LI Wei-jing, ZHAO Zheng-guo, LI Xiang, et al. The drought characteristics analysis in North China and its causes of formation. Arid Meteorology, 2003, 21(4): 1-5.]
- [6] 王志佳,翟盘茂.中国北方近50年干旱变化特征[J].地理学报,2003,58(S1):61-68.[WANG Zhi-jia, ZHAI Pan-mao. Climate change in drought over northern China during 1950-2000. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S1): 61-

- 68.]
- [7] 李庆祥, 刘小宁, 李小泉. 近半世纪华北干旱化趋势研究[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 50-56. [LI Qing-xiang, LIU Xiao-ning, LI Xiao-quan. Drought trend in North China in recent half century. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(3): 50-56.]
- [8] 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. [MA Zhu-guo, FU Cong-bin. The basic fact in the arid area of northern China during 1951 to 2004. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(20): 2429-2439.]
- [9] 符淙斌, 温刚. 中国北方干旱化的几个问题[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 22-29. [FU Cong-bin, WEN Gang. Several issues on aridification in the northern China. Climatic and Environmental Research, 2002, 7(1): 22-29.]
- [10] 罗健, 郝振纯. 我国北方干旱的时空分布特征分析[J]. 河海大学学报, 2001, 29(4): 61-66. [LUO Jian, HAO Zhen-chun. Study on characteristics of spatial and temporal distribution of drought in North China. Journal of Hohai University, 2001, 29(4): 61-66.]
- [11] 尤莉, 沈建国, 裴浩. 内蒙古近50年气候变化及未来10~20年趋势展望[J]. 内蒙古气象, 2002(4): 14-18. [YOU Li, SHEN Jian-guo, PEI Hao. Climate changes during last 50 years and trends in future 10 - 20 years of Inner Mongolia. Meteorology Journal of Inner Mongolia, 2002(4): 14-18.]
- [12] 高涛, 肖苏君, 乌兰. 近47年(1961—2007)年内蒙古地区降水和气温的时空变化特征[J]. 内蒙古气象, 2009(1): 3-7. [GAO Tao, XIAO Su-jun, WU Lan. Temporal-spatial characteristics of precipitation and temperature in Inner Mongolia for the last 47 years (1961 - 2007). Meteorology Journal of Inner Mongolia, 2009(1): 3-7.]
- [13] 李晶, 王耀强, 屈忠义, 等. 内蒙古自治区干旱灾害时空分布特征及区划[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 266-272. [LI Jing, WANG Yao-qiang, QU Zhong-yi, et al. Characteristics of temporal and spatial distribution of drought occurrence in Inner Mongolia Autonomous Region. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(5): 266-272.]
- [14] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991. [YUAN Wen-ping, ZHOU Guang-sheng. Theoretical study and research prospect on drought indices. Advances in Earth Science, 2004, 19(6): 982-991.]
- [15] 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. [WANG Jin-song, GUO Jiang-yong, ZHU Yue-wu, et al. Progress and prospect on drought indices research. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 60-65.]
- [16] 黄晚华, 杨晓光, 李茂松, 等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近58a演变特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 50-59. [HUANG Wan-hua, YANG Xiao-guang, LI Mao-song, et al. Evolution characteristics of seasonal drought in the south of China during the past 58 years based on standardized precipitation index. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 50-59.]
- [17] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34-38. [ZHANG Qiang. Research on determination of drought index in North China and its application. Journal of Catastrophology, 1998, 13(4): 34-38.]
- [18] 翟禄新, 冯起. 基于SPI的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 847-857. [ZHAI Lu-xin, FENG Qi. Dryness/wetness climate variation based on standardized precipitation index in northwest China. Journal of Natural Resources, 2011, 26(5): 847-857.]
- [19] 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): 22-29. [YAO Yu-bi, DONG An-xiang, WANG Yi-rong, et al. Compare research of the regional arid characteristic base on Palmer drought severity index in spring over China. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 22-29.]
- [20] 张永, 陈发虎, 勾晓华, 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布: 基于PDSI数据[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1142-1152. [ZHANG Yong, CHEN Fa-hu, GOU Xiao-hua, et al. The temporal and spatial distribution of seasonal dry-wet changes over the northwestern China: Based on PDSI. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(11): 1142-1152.]
- [21] 邹旭凯, 任国玉, 张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 371-378. [ZOU Xu-kai, REN Guo-yu, ZHANG Qiang. Drought variations in China based on a compound index of meteorological drought. Climatic and Environmental Research, 2010, 15(4): 371-378.]

Temporal and Spatial Patterns of Droughts Based on Standard Precipitation Index (SPI) in Inner Mongolia during 1981 – 2010

ZHOU Yang^{a,c}, LI Ning^{a,b,c}, JI Zhong-hui^{a,c}, GU Xiao-tian^{a,c}, FAN Bi-hang^{a,c}

(a.State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology, b. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, c. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The evolution characteristics of the annual and seasonal frequency, intensity and coverage of drought in the Inner Mongolia region for the past 30 years were analyzed based on the standardized precipitation index (SPI) as a drought index with the data of monthly precipitation of 47 ground meteorological stations during the period from 1981 to 2010. The drought coverage is defined as a ratio that the number of drought occurrence stations occupies the total observed stations. Results show that the trends of the annual, fall and winter drought intensity were not obvious over the past 30 years, while the trends in spring and summer increased significantly. The drought intensity at the annual and seasonal scales exhibited a mild level over the past 30 years. The drought coverage appeared as the features of the local and regional drought at the seasonal and annual scales. The northeastern Inner Mongolia, Hulunbeier, is a region where the annual drought, moderate, heavy and severe drought are all most likely to occur, and should pay special attention to it in order to reduce the damage, while the frequency of drought occurrence in the western Alashan League is relatively low. From the perspective of seasonal scale, the frequency of drought occurrence in spring and winter demonstrated consistency, including the level of moderate, heavy and severe drought. That is, the frequency of drought occurrence in the western and southeastern Inner Mongolia was low, while the eastern, central, and northern parts were relatively high. These findings provide valuable insights into the drought monitoring, early warning and drought disaster mitigation project in the context of global climate change.

Key words: drought; standard precipitation index (SPI); Inner Mongolia region