

# 基于相对湿润度指数的北疆气象干旱时空特征

祁嘉郁, 巴特尔·巴克

(新疆农业大学 草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘 要:**基于北疆地区 26 个主要气象站点 1961—2016 年逐日气象数据,选用国家标准相对湿润度指数( $M$ )作为干旱指标,以年和季为时间尺度,探究北疆地区干旱强度和频率的时间变化与空间分布特征。结果表明:相对湿润度指数能够很好地表征出典型干旱年,从 56 a 的数据分析来看,北疆地区干旱强度总体呈减小趋势。对比各年代干旱强度,以 21 世纪初干旱最轻,20 世纪 60 年代和 70 年代干旱最为严重,空间分布上大致呈东南高西北低的趋势;北疆地区年轻旱频率和中旱频率呈增加趋势,年重旱频率和特旱频率呈减小趋势,历年重旱频率明显高于其他等级干旱频率,中旱频率略高于轻旱和特旱频率。季节尺度上,北疆地区春季和夏季干旱强度明显高于秋、冬季,在各季节不同等级干旱频率中,秋季轻旱频率最高,夏季中旱、重旱频率最高,春季特旱频率最高。

**关键词:**气象干旱;时空特征;相对湿润度指数;北疆

**中图分类号:**P429

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)03-0223-06

## Spatiotemporal Distribution of Drought in Northern Xinjiang Based on Relative Moisture Index

QI Jiayu, Bateer · bake

(College of Grass and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:**Based on the daily meteorological data of 26 major meteorological stations in north Xinjiang from 1961 to 2016, the national standard relative moisture index ( $M$ ) was selected as the drought index, and the annual and seasonal time scales were used to explore the interannual variation and spatial distribution characteristics of drought intensity and frequency in northern Xinjiang. The results show that the relative moisture index can well characterize the typical drought year. According to the analysis on data covering 56 years, the drought intensity in north Xinjiang generally shows the decreasing trend. Compared with the drought intensity in various years, the drought was the lightest in the early 21st century, the drought was the most severe in the 1960s and 1970s, and the spatial distribution showed a trend of high in the southeast and low in the northwest. The frequencies of light drought and moderate drought in the northern Xinjiang region were increasing, while the frequencies of annual severe drought and extra drought were decreasing. The frequency of severe drought in northern Xinjiang over the years was significantly higher than that of other grades, and the frequency of moderate drought was slightly higher than that of light drought and extra drought. On the seasonal scale, the drought intensity in spring and summer in northern Xinjiang was significantly higher than that in autumn and winter. Among the drought frequencies of different grades in each season, the frequency of light drought in autumn was the highest, the frequency of moderate and severe drought in summer was the highest, and the frequency of extra drought in spring was the highest.

**Keywords:** meteorological drought; temporal and spatial distribution; relative moisture index; northern Xinjiang

在气候变化背景下,干旱作为人类面临的主要自然灾害之一,已成为全球关注的重点和热点问题<sup>[1-2]</sup>。北疆地区位于新疆维吾尔自治区天山以北,是典型的温带大陆性干旱半干旱气候,在干旱因素长期困扰

之下,当地生态环境建设与社会经济发展受到极大限制<sup>[3]</sup>。有研究表明:过去 50~100 a,新疆大部地区气温和降水量均呈现增加趋势,其中北疆地区降水量增势明显<sup>[4]</sup>,但由于降水时空分布不均,区域差异性明

收稿日期:2020-07-19

修回日期:2020-08-01

资助项目:国家国际科技合作计划“亚洲中部干旱区应对气候变化的生态系统管理”资助(2010DFA92720-13)

第一作者:祁嘉郁(1995—),女,新疆昌吉市人,硕士研究生,研究方向为农业生态与环境保护。E-mail:qijiayuyiayu@163.com

通信作者:巴特尔·巴克(1973—),男,维吾尔族,新疆莎车县人,博士生导师,研究方向为干旱区生态与环境。E-mail:bateerbake@163.com

显,部分地区干旱也呈现扩大化趋势<sup>[5]</sup>。学术界一般将干旱分为气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱来针对干湿气候变化进行研究,其中,气象干旱是其他各类干旱发生的基础<sup>[6-8]</sup>。目前,国内外关于气象干旱指标开展了大量研究,王明田等<sup>[9]</sup>基于相对湿润度指数( $M$ )分析了西南地区季节性干旱时空分布特征;张调风等<sup>[10]</sup>,谢五三等<sup>[11]</sup>基于综合气象干旱指数(CI)对石羊河流域近 50 a 气象干旱特征以及淮河流域干旱时空特征进行探究;潘淑坤等<sup>[12]</sup>分析了近 50 a 新疆标准化降水指数(SPI)变化特征;吴友均<sup>[13]</sup>等利用降水温度均一化指标对 1961—2008 年新疆旱涝时空分布特征进行探究;赵勇等<sup>[14]</sup>通过计算降水距平百分率(Pa)分析了新疆北部地区春夏季干旱的区域性和持续性特征。其中,相对湿润度指数综合考虑降水与需水信息,可反映短时间尺度的水分亏缺情况,是比较理想的区域干旱监测指标<sup>[15-17]</sup>。

前人大多基于降水量和气温却未考虑蒸散量在北疆干旱演变中的作用,而北疆地区年蒸散量高达 1 200 mm<sup>[18]</sup>。因此,本文综合考虑降水量和参考作物蒸散量等因子,以年和季为时间尺度,通过计算不同尺度下的相对湿润度指数,采用 GIS 技术,来探究 1961—2016 年北疆地区干旱时空演变规律,以期气候变化背景下新疆干旱状况的相关研究提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 资料来源

本文所用资料是由国家气象信息中心(<http://cdc.nmic.cn/home.do>)提供的北疆地区 26 个主要气象站点 1961—2016 年逐日气温(℃)、降水量(mm)、日照时数(h)、风速(m/s)、相对湿度(%)等数据(图 1)。

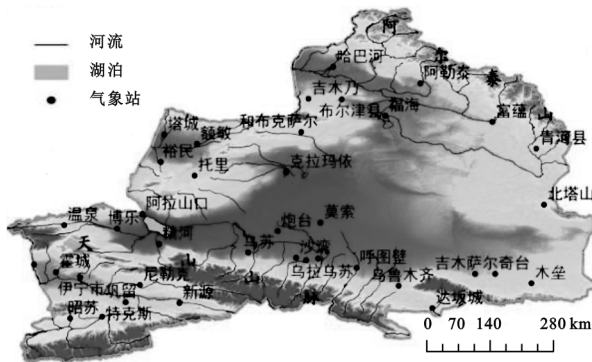


图 1 研究区域位置及气象站点分布

### 1.2 干旱指标构建

1.2.1 相对湿润度指数 相对湿润度指数( $M$ )由某时段内的降水量与同时段参考作物蒸散量之差再除以同时段参考作物蒸散量所得,可用于监测与评估作物生长季的干旱状况<sup>[19]</sup>,计算公式如下:

$$M = \frac{P - ET_0}{ET_0} \quad (1)$$

式中: $P$ 为某时段的降水量(mm); $ET_0$ 为某时段的参考作物蒸散量(mm),采用 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算<sup>[20]</sup>,即:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

式中: $\Delta$ 为饱和水汽压曲线斜率(kPa/℃); $\gamma$ 为干湿表常数(kPa/℃); $U_2$ 为距地面 2 m 处的风速(m/s); $R_n$ 为冠层表面净辐射[MJ/(m<sup>2</sup>·d)]; $G$ 为土壤热通量[MJ/(m<sup>2</sup>·d)]; $T$ 为日平均气温(℃); $e_a$ 为饱和水汽压(kPa); $e_d$ 为实际水汽压(kPa)。

1.2.2 干旱强度 干旱强度用来评价干旱的严重程度,某区域某时段内的干旱强度一般可由相对湿润度指数值反映,相对湿润度指数值越小,表示干旱越严重<sup>[21]</sup>。计算公式如下:

$$I_j = \sum_{i=1}^n M/n \quad (3)$$

式中: $i$ 代表要计算的时间段; $n$ 为上限;下标  $j$  为区别不同站点的代号。参考《气象干旱等级》国家标准中相对湿润度指数( $M$ )气象干旱等级的划分标准<sup>[22]</sup>,进行如下分级:  $-0.4 < M$  为无旱;  $-0.65 < M \leq -0.4$  为轻旱;  $-0.80 < M \leq -0.65$  为中旱;  $-0.95 < M \leq -0.80$  为重旱,  $M \leq -0.95$  为特旱。

1.2.3 干旱频率 干旱频率指发生轻旱及以上级别的干旱年数与气象资料总年数之比,用于表示干旱发生的频繁程度<sup>[23]</sup>,计算公式如下:

$$P_i = (n/N) \times 100\% \quad (4)$$

式中: $N$ 为某站气象资料总年数; $n$ 为该站发生轻旱及以上级别的年数; $i$ 代指不同站点。按不同程度的干旱发生年数分别计算不同程度干旱频率。

为计算和分析方便,季节划分按气象上通用标准,年度为 1—12 月,即 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12—次年 2 月为冬季。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱年度时空变化特征

2.1.1 干旱强度年际变化 采用相对湿润度指数( $M$ )作为评价指标,计算北疆地区 26 个主要气象站 1961—2016 年逐年平均  $M$ 。图 2 所示, $M$  值低于  $-0.90$  的年份从低到高依次为 1962 年、1974 年、1968 年、1975 年、1965 年、1967 年和 1977 年,查阅历年干旱灾情资料<sup>[24-25]</sup>发现,1962 年、1965 年和 1974 年均均为全疆性大旱年、1967 年、1968 年、1975 年和

1977年北疆地区干旱频次较高<sup>[26]</sup>。可见,相对湿度指数能够将典型干旱年很好地表征出来。

对比各年代干旱强度发现,21世纪初干旱最轻,20世纪60年代和70年代干旱最为严重,从56a线性趋势来看,干旱强度总体呈现减轻趋势,线性趋势为0.021/10a,且通过显著性检验。从20世纪60年代初到70年代末, $M$ 值在波动中略微下降,波动幅度由宽逐渐变窄, $M$ 值总体偏低,自20世纪80年代初以后, $M$ 值在波动中持续上升,21世纪的前10a的 $M$ 平均值与20世纪90年代接近,2010年后6a的 $M$ 值明显高于之前。

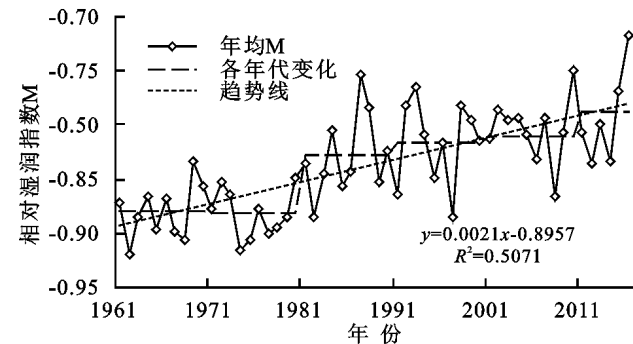


图2 北疆逐年平均相对湿润指数( $M$ )及各年代变化

2.1.2 干旱强度空间变化 干旱强度的空间分布由多年平均相对湿度指数的空间分布来体现,计算北疆地区各气象站点多年平均 $M$ ,得到该地区干旱强度分布见图3显示。北疆地区干旱强度大致呈东南高西北低的趋势,东南部大部分区域以及塔城地区西部干旱强度较强,多年平均 $M$ 均在-0.80以下,其中乌鲁木齐、石河子和乌兰乌苏大部分区域以及富蕴和福海小部分地区干旱强度最强,多年平均 $M$ 均在-0.87以下;伊犁地区大部和阿勒泰地区西北部干旱强度较小,多年平均 $M$ 高于-0.80。

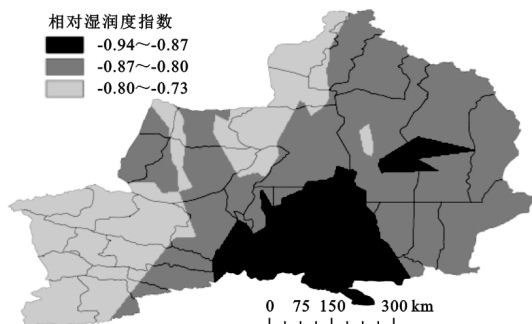


图3 北疆干旱强度分布

2.1.3 干旱频率年际变化 图4为北疆地区历年平均轻、中、重和特旱频率变化曲线,可以看出,近56a,北疆地区年轻旱频率和中旱频率呈增加趋势,年重旱频率和特旱频率呈减小趋势,历年重旱频率明显高于其他等级干旱频率,中旱频率略高于轻旱和特旱频率。历年轻旱和特旱频率在10%的均值上下波动,即10a一遇;中旱频率在30%的均值上下波动,3a一遇;重旱频率在

60%的均值上下波动,2a一遇。典型特旱频率高的年份为:1974年(38%),1962年(35%),1968年(27%),1967年(15%)和1975年(15%),与典型干旱年干旱状况描述有较好的一致性。

2.1.4 干旱频率空间变化 由图5可见,北疆地区出现轻旱(图5A)的频率在0~23%,其中温泉和塔城发生轻旱的频率最高,其次为青河和托里,整个北疆大部分地区出现轻旱的频率在7.7%以下,其中轻旱频率为0的站点数占总站点数的50%;北疆地区出现中旱(图5B)的频率主要集中在25%~50%,中旱频率最高值位于昭苏和托里,最低值位于阿拉山口、克拉玛依和达坂城;北疆东南部大部分地区重旱出现的频率(图5C)主要集中在47.6%~96.4%,北疆西北部大部分地区重旱出现的频率主要集中在47.6%以下,说明北疆东南部地区较西北部地区干旱更为严重;北疆地区出现特旱(图5D)的频率在0%~51.8%,其中达坂城和阿拉山口发生特旱的频率最高,其余大部分区域出现特旱的频率在17.3%以下,其中特旱频率为0的站点数占总站点数的42%。

## 2.2 干旱季度时空变化特征

2.2.1 干旱强度季节变化 对比分析北疆地区历年不同季节干旱强度的时间变化(图6),季度平均 $M$ 值越小,意味着干旱强度越强。近56a,北疆地区4个季节干旱强度均呈现增大趋势,其中冬季增势最为显著,夏季的干旱强度最强,春季次之,秋季和冬季最弱。夏季干旱典型年份为1974年、1962年、1968年、1977年、2014年和1979年;春季干旱典型年份为1975年、1991年、1977年、1967年、1989年和1965年;秋季干旱典型年份为1971年、1978年、1967年、1974年、1997年和1966年;冬季干旱典型年份为1967年、1962年、1974年、1969年、1961年和1975年。由此可得,北疆地区典型干旱年1962年主要为夏旱和冬旱,1974年主要为夏秋连旱,1968年主要为夏旱,1975年主要为春旱和冬旱,1965年主要为春旱,1967年主要为春秋连旱,1977年主要为春夏连旱。

2.2.2 干旱频率空间变化 对比分析北疆地区不同季节各站点干旱频率的变化趋势,绘制不同等级干旱频率空间分布见图7。

北疆地区春季出现轻旱的频率在0~26.8%,其中温泉和乌兰乌苏发生轻旱的频率最高,石河子与塔城次之,其余大部分地区出现轻旱的频率在8.9%以下,轻旱频率为0的站点数占总站点数的42%;春季中旱发生频率在0~55.4%,且自西向东呈逐渐增大趋势;春季出现重旱的频率在3.6%~85.7%,且呈现出东北高,西南低的趋势,说明春季北疆东北部地区

较西南部地区干旱更为严重;春季特旱发生频率最高在达坂城为 96.4%,其次为克拉玛依 51.8%,其余大

部分地区出现特旱的频率在 32.1%以下,其中塔城、石河子和乌兰乌苏发生特旱的频率为 0。

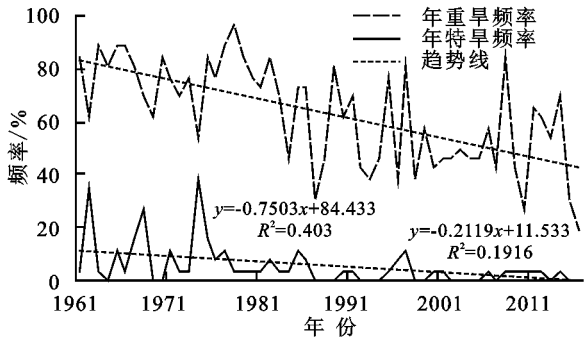
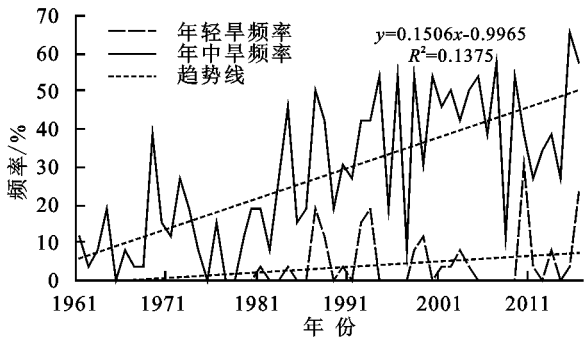


图 4 北疆各等级干旱频率年度变化

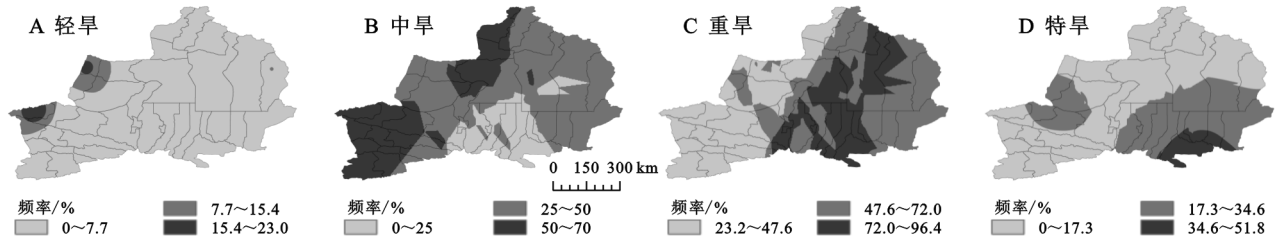


图 5 北疆各等级干旱频率空间变化

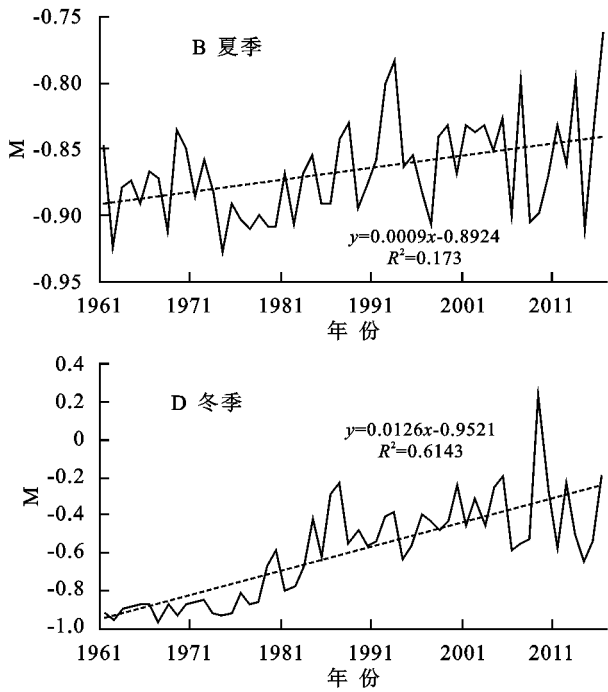
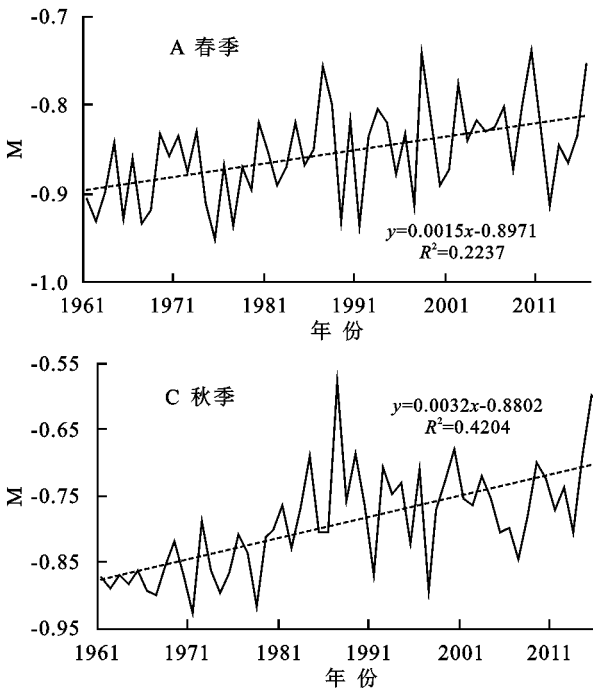


图 6 北疆各季节干旱强度年变化

北疆地区夏季出现轻旱的频率在 0~21.4%,其中温泉和托里发生轻旱的频率最高,昭苏与塔城次之,其余大部分地区出现轻旱的频率在 7.1%以下,轻旱频率为 0 的站点数占总站点数的 62%;夏季中旱发生频率最高在昭苏为 83.9%,其次为尼勒克、和布克赛尔和温泉,其余大部分地区出现中旱的频率在 28%以下,其中阿拉山口、蔡家湖和伊宁发生中旱的频率为 0;夏季昭苏出现重旱的频率最低为 8.9%,其次托里、温泉和尼勒克重旱频率均低于 50%,其余大

部分地区重旱发生的频率在 50%以上;夏季特旱发生频率最高为 50%在蔡家湖,其次为阿拉山口 44.6%,和布克赛尔、托里、温泉、尼勒克和昭苏出现特旱的频率均为 0,其余大部分地区出现特旱的频率在 16.7%~33.4%。

北疆地区秋季出现轻旱的频率在 0~39.3%,且在空间上呈现出中部低,四周高的趋势,其中塔城和乌兰乌苏发生轻旱的频率最高,和布克赛尔、阿拉山口、克拉玛依和达坂城出现轻旱的频率均为 0;秋季



中旱发生频率在 1.8%~51.8%,且呈现出东北高,西南低的趋势,其中阿拉山口、克拉玛依和达坂城出现轻旱的频率最低;秋季发生重旱的频率主要集中在 39.3%~59%,塔城出现重旱的频率最低为 19.6%,和布克赛尔最高为 78.6%;秋季特旱发生频率最高在达坂城为 75%,其次是克拉玛依和阿拉山口在 30%左右,其余大部分地区出现特旱的频率均低于 25%。

北疆地区冬季出现轻旱的频率在 0~25%,其中阿拉山口发生轻旱的频率最高,克拉玛依次之,昭苏

发生轻旱的频率最低;冬季中旱出现频率主要集中在 7.7%~15.4%,其中阿拉山口和伊宁中旱发生频率最高为 23.2%,蔡家湖中旱出现频率为 0;冬季重旱发生频率在空间上呈自西向东逐渐减小趋势,且最高在昭苏为 48.2%,尼勒克次之,青河出现重旱频率为 0;冬季达坂城特旱发生频率最高为 55.4%,昭苏次之,且在空间上呈明显的自西向东逐渐增大趋势,说明冬季北疆东部地区较西部地区干旱更为严重,其中特旱频率为 0 的站点数占总站点数的 38%。

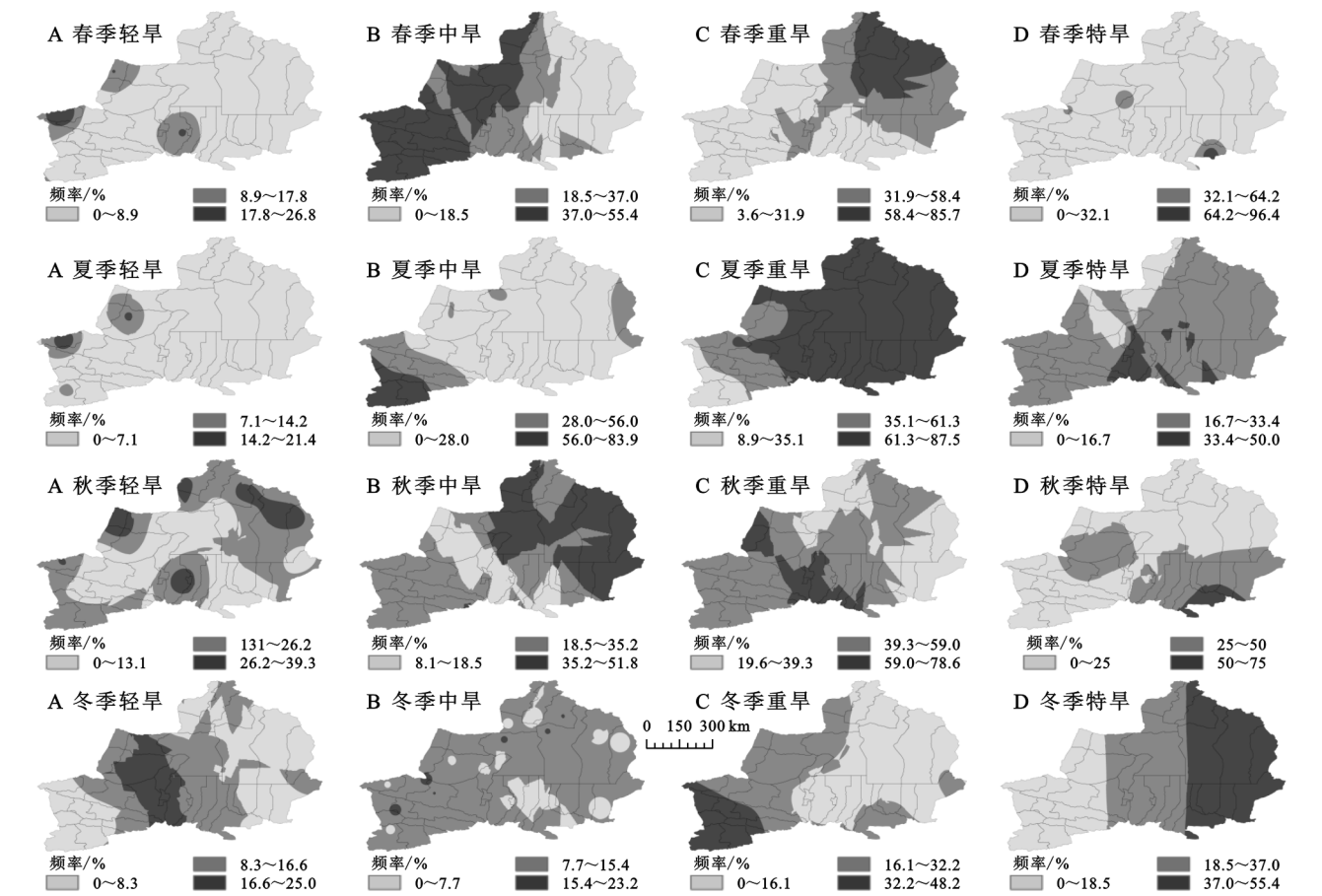


图 7 北疆各季节干旱频率空间变化

### 3 讨论与结论

本研究通过计算相对湿度指数构建干旱指标筛选出北疆地区典型干旱年,与白云岗等对新疆历史干旱资料统计分析结果具有很好的一致性<sup>[5]</sup>,值得注意的是,从图 2 可以看出,2012 年是北疆地区 21 世纪继 2008 年后又一干旱强度较强的年份。

研究发现,北疆地区 21 世纪初干旱最轻,20 世纪 60 年代和 70 年代干旱最为严重。罗那那等<sup>[27]</sup>基于标准化降水指数(SPI),对北疆地区近 52 a 年旱涝变化特征进行研究,认为北疆地区干旱发生频率较高,且在二十世纪八十年代之前频率更高、持续时间

更长,二十世纪八十年代之后干旱也时有发生,但频率和持续时间都不及之前;吴燕锋等基于综合气象干旱指数(CI),指出北疆年干旱频次总体呈减少趋势,且在 1960s 干旱频次高的年份最多,1970s 次之,1980s 和 21 世纪最少<sup>[27]</sup>。说明本研究结果与前人得出结论较为一致,并且更加证实了自二十世纪八十年代起,北疆地区具有明显的湿润化趋势。

研究发现,北疆地区干旱强度在空间分布上大致呈东南高西北低的趋势,其中乌鲁木齐、石河子和乌兰乌苏大部分区域以及富蕴和福海小部分地区干旱强度最强,伊犁地区大部和阿勒泰地区西北部干旱强度较小;北疆地区年轻旱频率和中旱频率呈增加趋势,年重旱频

率和特旱频率呈减小趋势,历年重旱频率明显高于其他等级干旱频率,中旱频率略高于轻旱和特旱频率。北疆地区春季和夏季干旱强度明显高于秋、冬季,在各季节不同等级干旱频率中,秋季轻旱频率最高,夏季中旱、重旱频率最高,春季特旱频率最高。

本文基于相对湿度指数( $M$ )作为评价指标,一般来说,合理的干旱指标应该能够对干旱的强度、范围和起止时间进行准确的表达,因此,这一干旱指标还有待进一步的优化。本文主要从气候角度分析了北疆地区年和季尺度的干旱时空变化特征,但干旱同时还受到地形地貌、土壤植被以及人类活动等多种因素的影响<sup>[28]</sup>,因此,针对干旱的监测、评估与区划研究还有待进一步的深入。

#### 参考文献:

- [1] 张强,韩兰英,张立阳,等.论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略[J].地球科学进展,2014,29(1):80-91.
- [2] Liu Z, Wang Y, Shao M, et al. Spatiotemporal analysis of multiscalar drought characteristics across the Loess Plateau of China [J]. Journal of Hydrology, 2016,534: 281-299.
- [3] 张扬,楚新正,杨少敏,等.近 56 a 新疆北部地区气候变化特征[J].干旱区研究,2019,36(1):212-219.
- [4] 李景林,张山清,普宗朝,等.近 50 a 新疆气温精细化时空变化分析[J].干旱区地理,2013,36(2):228-237.
- [5] 白云岗,木沙·如孜,雷晓云,等.新疆干旱灾害的特征及其影响因素分析[J].人民黄河,2012,34(7):61-63.
- [6] American Meteorological Society. Meteorological drought-Policy statement [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997,78:847-849.
- [7] 冯凯,栗晓玲.基于三维视角的农业干旱对气象干旱的时空响应关系[J].农业工程学报,2020,36(8):103-113.
- [8] 薛军,廖晓莉.美国、以色列和巴西农业旱灾风险管理的经验借鉴[J].世界农业,2017(2):59-64.
- [9] 王明田,王翔,黄晚华,等.基于相对湿度指数的西南地区季节性干旱时空分布特征[J].农业工程学报,2012,28(19):85-92,295.
- [10] 张调风,张勃,王有恒,等.基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析[J].生态学报,2013,33(3):975-984.
- [11] 谢五三,田红,王胜,等.基于 CI 指数的淮河流域干旱时空特征研究[J].气象,2013,39(9):1171-1175.
- [12] 潘淑坤,张明军,汪宝龙,等.近 51 年新疆 S 干旱指数变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(3):32-39.
- [13] 吴友均,师庆东,常顺利.1961—2008 年新疆地区旱涝时空分布特征[J].高原气象,2011,30(2):391-396.
- [14] 赵勇,杨青,马玉芬.新疆北部地区春夏季干旱的区域性和持续性特征[J].干旱区研究,2012,29(3):472-478.
- [15] 任菊章,黄中艳,郑建萌.基于相对湿度指数的云南干旱气候变化特征[J].中国农业气象,2014,35(5):567-574.
- [16] 王明田,蔡元刚,张玉芳,等.基于相对湿度指数的四川省季节性干旱时空分布特征[J].西南农业学报,2014,27(4):1715-1722.
- [17] 刘勤,严昌荣,何文清.黄河流域干旱时空变化特征及其气候要素敏感性分析[J].中国农业气象,2016,37(6):623-632.
- [18] 张山清,普宗朝.新疆参考作物蒸散量时空变化分析[J].农业工程学报,2011,27(5):73-79,400.
- [19] 李娜,霍治国,钱锦霞,等.基于改进后相对湿度指数的山西省气象干旱时空特征[J].生态学杂志,2019,38(7):2249-2257.
- [20] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation, Fao Irrigation and Drainage Paper, 1998.
- [21] 柏庆顺,颜鹏程,蔡迪花,等.近 56 a 中国西北地区不同强度干旱的年代际变化特征[J].干旱气象,2019,37(5):722-728.
- [22] 张强,邹旭恺,肖风劲,等.气象干旱等级. GB/T20481, 中华人民共和国国家标准[M].北京:中国标准出版社,2006:1-17.
- [23] 倪深海,顾颖,彭岳津,等.近七十年中国干旱灾害时空格局及演变[J].自然灾害学报,2019,28(6):176-181.
- [24] 史玉光.中国气象灾害大典(新疆卷)[M].北京:气象出版社,2006.
- [25] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011.
- [26] 吴燕锋,巴特尔·巴克,罗那那.1961—2012 年北疆干旱时空变化[J].中国沙漠,2017,37(1):158-166.
- [27] 罗那那,巴特尔·巴克,吴燕锋.基于标准化降水指数的北疆地区近 52 年旱涝变化特征[J].水土保持研究,2017,24(2):293-299.
- [28] 陈少丹,张利平,汤柔馨,等.基于 SPEI 和 TVDI 的河南省干旱时空变化分析[J].农业工程学报,2017,33(24):126-132.