

沙比提,买买提,欢乐希,等. 1961—2014年乌鲁木齐地区气候特征及干湿区变化[J]. 干旱气象, 2016, 34(3): 448–455, [SHA Biti, MAI Maiti, HUAN Lexi, et al. Climate Feature and Dry–wet Area Change in Urumqi Region of Xinjiang During 1961–2014[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(3): 448–455], DOI:10.11755/j.issn.1006–7639(2016)–03–0448

# 1961—2014年乌鲁木齐地区气候特征及干湿区变化

沙比提,买买提,欢乐希,哈布拉哈提,  
木拉提,耿燕,冯丽晔,陈亮

(新疆乌鲁木齐市牧业气象试验站,新疆 乌鲁木齐 830001)

**摘 要:**为明确气候变化背景下新疆乌鲁木齐地区的干湿气候变化,基于乌鲁木齐地区及其周边9个气象站1961—2014年逐月气候资料,采用线性趋势、累积距平方法以及ArcGIS空间插值技术,在分析年降水量、年潜在蒸散量和年干湿指数的变化趋势、突变特征、突变前后空间分布变化的基础上,结合干湿气候分区指标,探讨了乌鲁木齐地区干湿气候区划的变化。结果表明:近54 a,乌鲁木齐地区年降水量和年干湿指数分别以 $11.61\text{ mm} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 和 $0.01\text{ (10 a)}^{-1}$ 的倾向率显著( $P \leq 0.05$ )增大,年潜在蒸散量以 $-13.91\text{ mm} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 的倾向率显著( $P \leq 0.001$ )减少,且各要素于1987年发生突变。乌鲁木齐地区年降水量和年干湿指数的空间分布表现为“山区多(大)、平原少(小)”的格局,年潜在蒸散量则表现为“山区小、平原大”的特点。乌鲁木齐地区可划分为极干旱区、干旱区、半干旱区和半湿润区4个干湿气候区。1987年后,半干旱区和半湿润区明显扩大,而干旱区明显减小,极端干旱区也有所减小。

**关键词:** ArcGIS; 降水量; 潜在蒸散量; 干湿指数; 气候区划; 乌鲁木齐地区

**文章编号:** 1006–7639(2016)–03–08–0448 DOI:10.11755/j.issn.1006–7639(2016)–03–0448

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

## 引 言

以变暖为主要特征的全球气候变化已成不争的事实<sup>[1]</sup>。气候变化将改变全球和区域水分循环,并对气候的干湿状况和水资源供需平衡产生重要影响,因此,近年来有关干湿气候变化的研究受到学术界越来越广泛的关注<sup>[2–10]</sup>。如申双和<sup>[2]</sup>、张方敏<sup>[3]</sup>等对中国近30 a干湿状况的分析表明,中国变湿地区多于变干地区,但是干旱化进程大于湿润化进程;杨建平等<sup>[4]</sup>对中国近50 a干湿气候界限的波动研究表明,1960—1970年代中国北方发生了从较湿润到干旱的气候突变,但各地变化差异较大;马柱国等<sup>[5]</sup>对比分析中国华北、西北2个典型干旱区近50 a地表湿润指数的变化表明,西北西部与华北地区的干湿变化趋势基本相反,前者为变湿趋势,后者为变干趋势;施雅风等<sup>[6]</sup>研究指出中国西北地区

于1987年前后发生了由暖干向暖湿的突变;靳立亚等<sup>[7]</sup>的研究揭示了近50 a新疆和柴达木盆地有明显的变湿趋势,而西北地区东部有变干趋势的事实;普宗朝等<sup>[8]</sup>对新疆塔克拉玛干沙漠周边地区地表干湿状况的研究表明,近40多a该地区气候总体呈较明显的变湿趋势,但1990年代中期以来干旱化的迹象又开始显现。以上研究表明,全球变化对各地干湿气候的影响具有明显的区域性差异,其影响机理还存在许多不确定性。

乌鲁木齐市地处天山北坡,准噶尔盆地南部,地理坐标为 $85^{\circ}17'E-90^{\circ}32'E, 43^{\circ}00'N-45^{\circ}38'N$ ,总面积 $14\,216\text{ km}^2$ ,是新疆维吾尔自治区的首府,是新疆重要的畜牧业生产基地和天山北坡经济带特色农产品主产区之一。由于深居中纬度欧亚大陆腹地,乌鲁木齐地区降水较少,蒸发强烈,气候干燥,水资源短缺是制约当地社会经济发展尤其是农牧业经济发展

收稿日期:2015–07–13;改回日期:2016–03–11

基金项目:新疆气象局科研项目(201512)资助

作者简介:沙比提(1963–),男,哈萨克族,工程师,从事牧业气象和气候变化研究。E-mail: 815262086@qq.com

通讯作者:买买提(1977–),男,维吾尔族,工程师,从事牧业气象和气候变化研究。E-mail: mmtj77@126.com

的主要因素<sup>[9-10]</sup>。近年来,普宗朝等<sup>[10-11]</sup>对乌鲁木齐地区气候变化的研究表明,在过去的数十年里,该地区降水量呈显著增多趋势,年潜在蒸散量呈显著减小趋势,气候总体趋于变湿。但有关气候变化背景下该地区干湿气候区划变化的研究则尚未见报道。因此,全面客观地研究分析近半个世纪以来乌鲁木齐地区降水量、潜在蒸散量以及干湿指数的时空变化,并结合干湿气候分区指标,探讨该地区干湿气候区划的变化,对适应和应对气候变化,采取趋利避害的生产管理和技术措施,提高水资源利用效率,促进乌鲁木齐地区社会、经济的持续、稳定发展和生态环境保护具有重要意义。

## 1 资料及方法

### 1.1 研究区域和资料

选用乌鲁木齐市及其资料序列较长的周边9个气象站1961—2014年的逐月降水量、平均气温、平均最高气温、平均最低气温、日照时数、平均风速和空气相对湿度实测资料。研究区域、地形地貌和所选气象站点分布见图1。各站气象数据和乌鲁木齐地区1:5万基础地理信息数据由新疆气象信息中心提供。

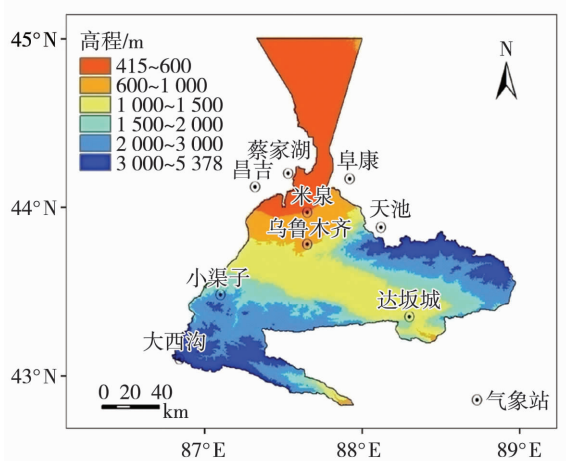


图1 乌鲁木齐地区高程和气象站点分布

Fig.1 The terrain height and meteorological stations distribution in Urumqi region

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 潜在蒸散量的计算

潜在蒸散量是表征大气蒸散能力,评价气候干旱程度、植被耗水量、生产潜力以及水资源供需平衡的重要指标。有关潜在蒸散量的计算方法很多<sup>[2-15]</sup>,其中,1998年联合国粮农组织(FAO)推荐的Penman-Monteith公式综合考虑了气温、风速、

湿度、太阳辐射、气压等多个气候因子的影响,具有明确的物理意义,能够客观真实地反映实际气候的蒸散发能力<sup>[12-13]</sup>,因此,本文采用Penman-Monteith公式计算乌鲁木齐地区潜在蒸散量,公式如下:

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

式(1)中, $ET_0$ 为潜在蒸散量(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ); $R_n$ 是冠层表面净辐射(单位: $\text{MJ} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$ ); $G$ 是土壤热通量(单位: $\text{MJ} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$ ); $\Delta$ 为饱和水汽压曲线在气温为 $T$ 时的斜率(单位: $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ); $T$ 为平均气温(单位: $^\circ\text{C}$ ); $\gamma$ 为干湿表常数(单位: $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ); $U_2$ 为距地面2 m高处的风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),计算公式为 $U_2 = U_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$ , $z$ 为风速测量仪离地面的高度, $U_z$ 为离地面高度 $z$ 处的实测风速; $e_a$ 为饱和水汽压(单位: $\text{kPa}$ ); $e_d$ 为实际水汽压(单位: $\text{kPa}$ )。各月的潜在蒸散量值为利用公式(1)计算的值分别乘以该月的天数,年潜在蒸散量为年内各月潜在蒸散量之和。

#### 1.2.2 干湿指数的计算

干湿指数是体现大气降水和潜在蒸散量2个最重要的地表水分收支分量之间相对平衡关系的一个物理量,是研究分析干湿气候变化的常用指标之一。其计算式为<sup>[2-5,7-8]</sup>:

$$K = P/ET_0 \quad (2)$$

式中, $K$ 为年干湿指数; $P$ 为年降水量(单位: $\text{mm}$ ); $ET_0$ 为年潜在蒸散量(单位: $\text{mm}$ )。

#### 1.2.3 干湿气候要素变化趋势及突变分析方法

通常用一元线性回归方程来描述气候要素的变化趋势<sup>[14]</sup>,即:

$$Y(t) = at + b \quad (3)$$

其中 $t$ 为年序, $a$ 为线性方程的斜率,也就是气候要素的线性变化趋势和速率。 $a$ 为正(负)表示增加(减小)趋势,零表示无变化趋势,并将 $a \times 10^4$ 定义为气候倾向率, $b$ 为常数。 $a$ 和 $b$ 可通过最小二乘法求取。

气候突变是指在短时期内由一种相对稳定的气候状态过渡到另一种气候状态的变化,它是气候系统非线性性质的一种表现<sup>[16]</sup>。检验气候突变的方法有多种,本文采用累积距平曲线来确定待检测点,即使用指标<sup>[16]</sup>:

$$C(t) = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (4)$$

式中:  $C(t)$  为累积距平值,  $x_i$  为气候要素的历年值,  $\bar{x}$  为气候要素的多年平均值。以累积距平  $C(t)$  绝对值达到最大值的次年作为分界点, 将气候要素序列分为前后 2 段子序列  $x_1, x_2$  计算统计量:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (5)$$

其中:

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (6)$$

公式(5)遵从自由度  $u = n_1 + n_2 - 2$  的  $t$  检验。式中  $\bar{x}_1$  和  $\bar{x}_2$  分别为子序列  $x_1, x_2$  的平均值;  $s_1^2, s_2^2$  分别为

$$p = p(\lambda, \varphi, h) + \varepsilon = (b_0 + b_1\lambda + b_2\varphi + b_3h + b_4\lambda\varphi + b_5\varphi h + b_6\lambda h + b_7\lambda^2 + b_8\varphi^2 + b_9h^2) + \varepsilon \quad (7)$$

式(7)中,  $p$  为栅格点的干湿气候要素模拟值;  $p(\lambda, \varphi, h)$  为宏观地理因子对要素值的影响;  $\varepsilon$  为局部小地形因子和随机因素对要素的影响, 即残差项;  $\lambda$  为栅格点的平均经度(单位:  $^\circ$ );  $\varphi$  为栅格点的平均纬度(单位:  $^\circ$ );  $h$  为栅格点的平均海拔高度(单位: m);  $b_0, b_1, \dots, b_9$  为待定系数。经逐步回归运算获取的乌鲁木齐市各干湿气候要素与宏观地理因子间的回归方程(方程略), 其复相关系数都在 0.85 以上 ( $F > F_{0.01}$ ), 这说明乌鲁木齐市各干湿气候要素的空间分布主要受经度、纬度、海拔高度等宏观地理因素的影响。

残差项的插值采用反距离加权法, 其插值计算式为<sup>[10-11, 17-18]</sup>:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i}{d_i^k} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k} \quad (8)$$

式(8)中,  $\varepsilon$  为各干湿气候要素残差项的栅格点模拟值;  $n$  为用于插值的气象观测站点的数目;  $\varepsilon_i$  为第  $i$  个气象站点干湿气候要素的实际残差项值, 由该站实际干湿气候要素值与通过宏观地理因子的三维二次趋势面模拟值之差获取;  $d_i$  为插值的栅格点与第  $i$  个气象站点之间的欧氏距离,  $k$  为距离的幂, 其选择标准是平均绝对误差最小, 根据文献<sup>[10-11, 17-18]</sup>, 取  $k=3$ 。

#### 1.2.5 干湿气候区划方法

申双和<sup>[2]</sup>、张方敏<sup>[3]</sup>、郑景云<sup>[19]</sup>等研究表明, 由于干湿指数综合考虑了大气降水和潜在蒸散量这 2 个最重要的地表水分收支分量之间的相对平衡关系, 以其作为干湿气候区划的指标比单纯使用降水量更能反映一个地区的干湿特征。但杨建平等<sup>[4]</sup>指出, 我国传统的干湿气候区划多以年降水量作为指标, 并且年降水量与年干湿指数的等值线具有较

子序列  $x_1, x_2$  的方差;  $n_1, n_2$  分别为子序列  $x_1, x_2$  的样本数。由给定的显著性水平  $\alpha$ , 可查  $t$  分布表得到临界值  $t_\alpha$ , 若  $|t_0| > t_\alpha$ , 则认为气候要素发生了突变, 这时 2 个子序列的分界点即为突变点。

#### 1.2.4 干湿气候要素的空间插值方法

乌鲁木齐地区地形地貌复杂, 地势起伏悬殊, 气候类型多样, 但气象站点稀少, 为提高各干湿气候要素空间分布模拟的精度, 本研究基于地理信息系统 (ArcGIS) 技术和数字高程 (DEM) 数据, 采用混合插值法 (三维二次趋势面 + 残差内插) 对该地区年降水量、潜在蒸散量和干湿指数进行  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$  栅格点的空间插值<sup>[10-11, 17-18]</sup>。其表达式为:

好的对应关系。因此, 以年干湿指数作为区划的主要指标, 年降水量为辅助指标较为合理。根据前人研究成果<sup>[2-3, 19]</sup>, 确定乌鲁木齐地区干湿气候区划指标及其等级划分标准(表 1)。具体区划时, 根据文献<sup>[20]</sup>取主导指标的权重为 0.7, 辅助指标的权重为 0.3, 在 ArcGIS 平台上对年干湿指数和年降水量的分级图层进行加权平均处理, 获得综合考虑这 2 项气候要素变化的干湿气候区划。

表 1 干湿区划分指标及其标准  
Tab. 1 Criteria of dry and wet regions  
for climate regionalization

| 干湿区  | 主要指标        | 辅助指标       |
|------|-------------|------------|
|      | 年干湿指数       | 年降水量/mm    |
| 极干旱区 | <0.05       | <80        |
| 干旱区  | 0.05 ~ 0.20 | 80 ~ 230   |
| 半干旱区 | 0.20 ~ 0.50 | 230 ~ 450  |
| 半湿润区 | 0.50 ~ 1.00 | 450 ~ 650  |
| 湿润区  | $\geq 1.00$ | $\geq 650$ |

## 2 结果与分析

### 2.1 干湿气候要素变化趋势和突变特征

#### 2.1.1 年降水量

1961—2014 年乌鲁木齐地区年平均降水量为 298.9 mm, 但年际间差异较大, 年降水量最少为 195.6 mm (1994 年), 最长达 421.1 mm (2007 年), 相差 1 倍多。在全球变暖背景下, 1961—2014 年乌鲁木齐地区年降水量总体以  $11.61 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的倾向率呈显著 ( $p \leq 0.05$ ) 增加趋势(图 2), 54 a 来, 年降水量增多了 62.7 mm。由 1961—2014 年乌

乌鲁木齐地区年降水量序列的累积距平可以看出,1986年出现了累积距平的最小值(图2)。对1961—1986年和1987—2014年降水量进行 $t$ 检验(表3),结果表明, $|t_0| = 3.2992 > t_{\alpha=0.001}$ ,通过了 $\alpha = 0.001$ 的信度水平,这说明近54 a乌鲁木齐地区年降水量于1987年发生了突变,突变后较突变前全地区年平均降水量增多了43.6 mm。

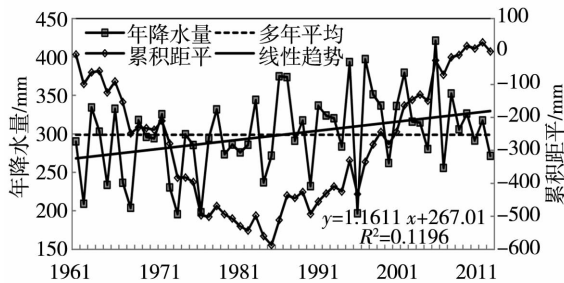


图2 1961—2014年乌鲁木齐地区  
年降水量及其累积距平变化

Fig. 2 The change of annual precipitation and its accumulative anomaly from 1961 to 2014 in Urumqi region

表2 乌鲁木齐地区年降水量、潜在蒸散量  
和年干湿指数突变点信度检验

Tab. 2 The  $t$ -test results of annual precipitation,  $ET_0$  and dry-wet index from 1961 to 2014 in Urumqi region

|        | 检测点  | $n_1$ | $n_2$ | $ t_0 $    |
|--------|------|-------|-------|------------|
| 年降水量   | 1987 | 26    | 28    | 3.2992 *** |
| 年潜在蒸散量 | 1987 | 26    | 28    | 5.7430 *** |
| 年干湿指数  | 1987 | 26    | 28    | 3.4733 *** |

注:  $n_1$ 、 $n_2$  分别为检测点前后气候要素序列的样本数,

\*\*\* 表示通过  $\alpha = 0.001$  显著性检验

### 2.1.2 年潜在蒸散量

乌鲁木齐地区蒸散较强,1961—2014年年平均潜在蒸散量为931.6 mm,但年际间差异较大,年潜在蒸散量最少为857.5 mm(1993年),最多为1036.0 mm(1974年),相差178.5 mm。1961—2014年全地区平均年潜在蒸散量总体以 $-13.91 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的倾向率呈极显著( $p \leq 0.001$ )<sup>[10]</sup>减少趋势(图3),54 a来减少75.1 mm<sup>[11]</sup>。由1961—2014年潜在蒸散量序列的累积距平可以看出,1986年出现了累积距平的最大值(图3),对1961—1986年和1987—2014年潜在蒸散量进行 $t$ 检验(表2),结果表明, $|t_0| = 5.7430 > t_{\alpha=0.001}$ ,通过了 $\alpha = 0.001$ 的信度水平检验,这说明近54 a乌鲁木齐地区年潜在蒸散量于1987年发生突变,突变后较突变前全年平均潜在蒸散量减少51.2 mm。

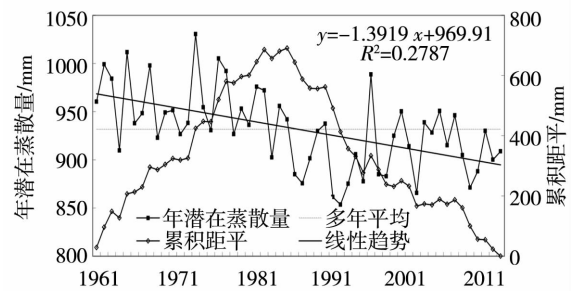


图3 1961—2014年乌鲁木齐  
地区年潜在蒸散量及其累积距平变化

Fig. 3 The change of annual  $ET_0$  and its accumulative anomaly from 1961 to 2014 in Urumqi region

### 2.1.3 年干湿指数

乌鲁木齐地区气候干燥,1961—2014年年平均干湿指数为0.37,其中,1997年最小为0.230;2007年最大为0.525。近54 a受年降水量增多和年潜在蒸散量减少的共同影响,乌鲁木齐地区年干湿指数总体以 $0.01 (10 \text{ a})^{-1}$ 的倾向率呈显著( $p \leq 0.05$ )增大趋势(图4),54 a来全地区平均年干湿指数增大了0.054。由1961—2014年乌鲁木齐地区年干湿指数序列的累积距平可以看出,1986年出现了累积距平的最小值(图4),对1961—1986年和1987—2014年干湿指数进行 $t$ 检验(表2),结果表明, $|t_0| = 3.4733 > t_{\alpha=0.001}$ ,通过了 $\alpha = 0.001$ 的信度水平检验,这说明近54 a乌鲁木齐地区年干湿指数于1987年发生突变,突变后较突变前全地区年平均干湿指数增大0.063。

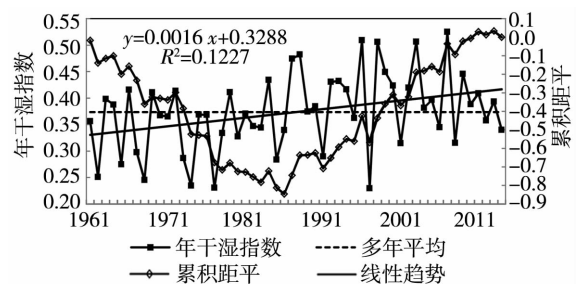


图4 1961—2014年乌鲁木齐  
地区年干湿指数及其累积距平变化

Fig. 4 The change of annual dry-wet index and its accumulative anomaly from 1961 to 2014 in Urumqi region

## 2.2 干湿气候要素空间分布及其变化

上述分析表明,1961—2014年乌鲁木齐地区年降水量和年干湿指数总体呈显著增大趋势,年潜在蒸散量呈显著减小趋势,并且上述各要素均于1987年发生了突变。这与施雅风等<sup>[6]</sup>提出的“我国西北

地区的气候在 1987 年前后发生了由暖干向暖湿转变”的论述基本一致。为了分析气候变化背景下, 乌鲁木齐地区干湿气候要素空间分布的变化, 以各要素发生突变的 1987 年为时间节点, 探讨 1987 年前(1961—1986 年)、后(1987—2014 年)各要素空间分布的差异<sup>[20]</sup>。

### 2.2.1 年降水量

乌鲁木齐年降水量的空间分布总体呈现“山区多、平原少”的格局(图 5)。1987 年前, 年降水量  $\geq 450$  mm 的区域主要分布在天山山区海拔 1 700 ~ 3 400 m 的中高山带; 230 ~ 450 mm 的分布区域在海

拔 800 ~ 1 700 m 的中低山带、山前倾斜平原以及海拔  $> 3 400$  m 的高山带; 达坂城山间谷地大部以及海拔高度  $< 800$  m 的北部平原地带年降水量较少, 一般为 80 ~ 230 mm, 其中, 达坂城峡谷地带局部甚至不足 80 mm(图 5a)。1987 年后, 年降水量  $\geq 450$  mm 的区域明显扩大, 其海拔上限约上移了 300 m, 而下限则下移了约 150 m; 与此同时, 年降水量 230 ~ 450 mm 区域的海拔下限也下降了 150 ~ 200 m, 但该区域面积变化不大; 受年降水量 230 mm 线下移的影响, 年降水量 80 ~ 230 mm 的区域明显压缩。另外, 年降水量  $< 80$  mm 的区域也略有减小(图 5b)。

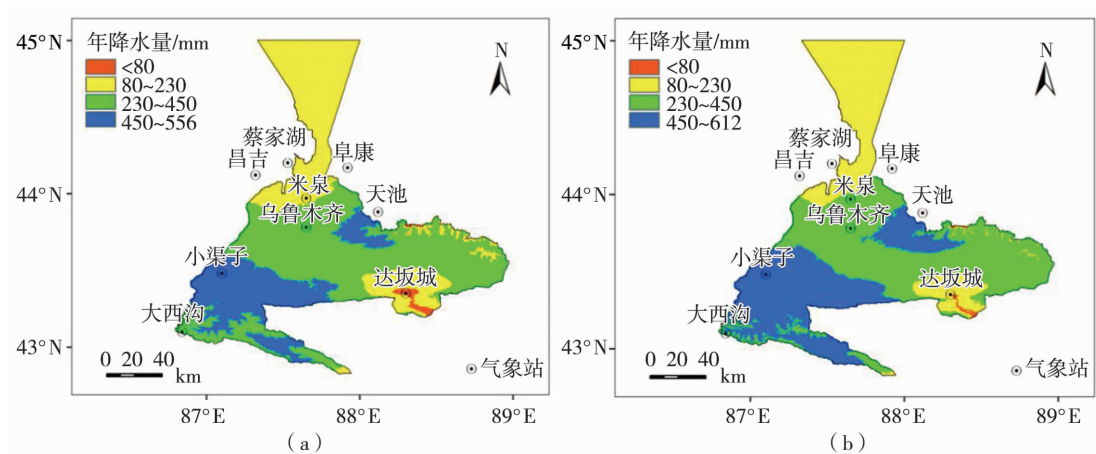


图 5 1961—1986 年(a)和 1987—2014 年(b)乌鲁木齐地区年降水量空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of annual precipitation during 1961 – 1986 (a) and 1987 – 2014 (b) in Urumqi region

### 2.2.2 年潜在蒸散量

乌鲁木齐地区年潜在蒸散量的空间分布格局与年降水量大体相反, 表现为“平原大、山区小”的特点(图 6)。从 1987 年前年潜在蒸散量的空间分布来看, 天山山区中高山带年潜在蒸散量较小, 一般不足 800 mm, 低山、丘陵以及北部平原地带为 800 ~

1 000 mm, 乌鲁木齐城区以及达坂城山间谷地大部为 1 000 ~ 1 100 mm, 达坂城谷地中部为 1 100 ~ 1 338 mm(图 6a)。1987 年后, 年潜在蒸散量  $< 800$  mm 的区域略有增大, 800 ~ 1 000 mm 的区域明显扩大, 而 1 000 ~ 1 100 mm 的区域明显压缩,  $> 1 100$  mm 的区域也略有减小(图 6b)。

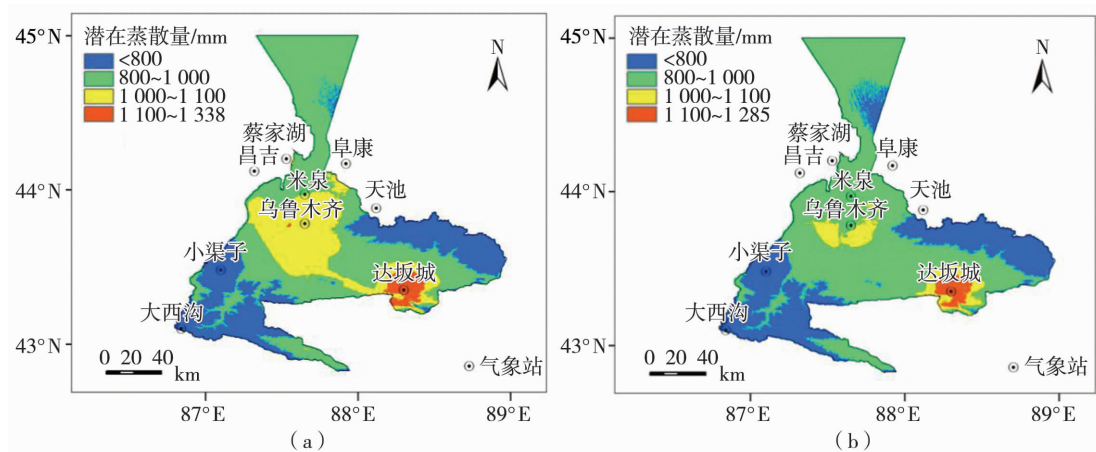


图 6 1961—1986 年(a)和 1987—2014 年(b)乌鲁木齐地区年潜在蒸散量空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of annual  $ET_0$  during 1961 – 1986 (a) and 1987 – 2014 (b) in Urumqi region

### 2.2.3 年干湿指数

乌鲁木齐地区年干湿指数的空间分布格局与年降水量相似,也总体呈现“山区大、平原小”的特点(图7)。1987年前,年干湿指数 $\geq 0.50$ 的区域主要分布在天山山区海拔 $>1\,600\text{ m}$ 的中高山带; $0.20 \sim 0.50$  mm的区域分布在海拔 $500 \sim 1\,600\text{ m}$ 的中低山带以及山前倾斜平原地带;达坂城山间谷地大部以及海拔高度 $<500\text{ m}$ 的北部平原地带年干湿指数

较小,一般为 $0.05 \sim 0.20$ ,其中,达坂城峡谷地带局部甚至在 $0.05$ 以下(图7a)。1987年后,年干湿指数 $\geq 0.50$ 区域的海拔下限下移了约 $150\text{ m}$ ,因此,该区域面积有所扩大;与此同时,年干湿指数 $0.20 \sim 0.50$ 区域明显扩大,具体表现在,1987年前北部平原 $0.05 \sim 0.20$ 的区域,到1987年后几乎完全被 $0.20 \sim 0.50$ 的区域所替代;受其影响,年干湿指数 $0.05 \sim 0.20$ 的区域明显压缩, $<0.05$ 的区域也略有减小(图7b)。

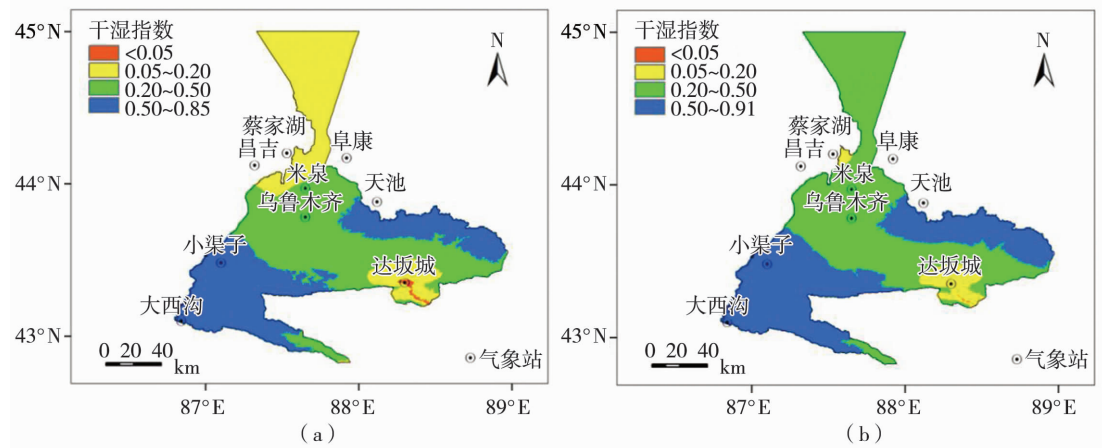


图7 1961—1986年(a)和1987—2014年(b)乌鲁木齐地区年干湿指数空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of annual dry - wet index during 1961 - 1986 (a) and 1987 - 2014 (b) in Urumqi region

### 2.3 干湿气候区划的变化

根据表1干湿气候区划指标,对1961—1986年和1987—2014年2个时段的年干湿指数、年降水量的栅格数据在ArcGIS10.0平台上进行分级和加权平均叠加处理,获得了1987年前后乌鲁木齐地区干湿气候区划,结果见图8。可以看出,乌鲁木齐地区的干湿气候区可划分为极干旱、干旱、半干旱和半湿润4个分区。

#### (1) 极干旱区

极干旱区是乌鲁木齐地区面积最小的干湿气候区,仅在达坂城山间峡谷地带带有少量分布(图8)。1987年前只有 $53\text{ km}^2$ ,仅占全地区总面积的 $0.4\%$ ;1987年后,极干旱区几近消失(表3)。

#### (2) 干旱区

1987前乌鲁木齐地区的干旱区主要分布在东部达坂城山间谷地以及北部准噶尔盆地南缘海拔高度 $<500\text{ m}$ 的平原地带,面积为 $3\,700\text{ km}^2$ ,占全地区总面积的 $26.0\%$ ;1987年后,该区大幅度减少,在

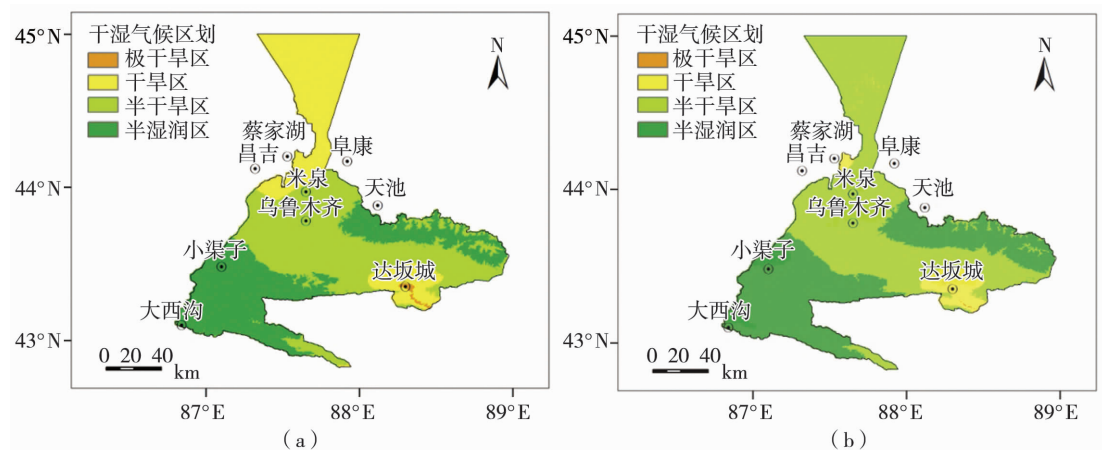


图8 1961—1986年(a)和1987—2014年(b)乌鲁木齐地区干湿气候区划

Fig. 8 The dry - wet climatic regionalization during 1961 - 1986 (a) and 1987 - 2014 (b) in Urumqi region

表3 1987年前后乌鲁木齐地区不同干湿气候分区面积的变化

Tab. 3 Variation of different dry – wet climatic areas before and after 1987 in Urumqi region

| 干湿区  | 1961—1986 年        |       | 1987—2014 年        |       | 1987 年前后变化量        |       |
|------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|      | 面积/km <sup>2</sup> | 百分率/% | 面积/km <sup>2</sup> | 百分率/% | 面积/km <sup>2</sup> | 百分率/% |
| 极干旱区 | 53                 | 0.4   | 5                  | 0.0   | -48                | -0.4  |
| 干旱区  | 3 700              | 26.0  | 718                | 5.1   | -2 982             | -20.9 |
| 半干旱区 | 5 837              | 41.1  | 7 832              | 55.1  | 1 995              | 14.0  |
| 半湿润区 | 4 626              | 32.5  | 5 661              | 39.8  | 1 035              | 7.3   |

北部平原地带已几近消失,仅在达坂城谷地仍有少量存在(图8),其面积减至718 km<sup>2</sup>,占全地区总面积比率也降至5.1%,较1987前减少了2 982 km<sup>2</sup>和20.9%(表3)。

### (3) 半干旱区

半干旱区是乌鲁木齐地区面积最大的干湿气候区,1987前主要分布在海拔500~1 600 m的中低山带和山前倾斜平原地带,面积为5 837 km<sup>2</sup>,占全地区总面积的41.1%;1987年后半干旱区明显扩大,最显著的变化表现在,1987年前北部平原地带的干旱区(图8a),到1987年后几乎完全被半干旱区所替代(图8b),半干旱区面积增至7 832 km<sup>2</sup>,占全地区总面积比率也升至55.1%,较1987前增大了1 995 km<sup>2</sup>和14.0%(表3)。

### (4) 半湿润区

半湿润区是乌鲁木齐地区仅次于半干旱区的第二大干湿气候区。1987年前,半湿润区主要分布在天山山区海拔>1 600 m的中高山带(图8a),面积为4 626 km<sup>2</sup>,占全地区总面积的32.5%;1987年后,受气候变湿的影响,该区海拔下限下移了约150 m(图8b),其面积增至5 661 km<sup>2</sup>,占全地区总面积比率也升至39.8%,较1987前增大了1 035 km<sup>2</sup>和7.3%(表3)。

## 3 结论和讨论

(1)1961—2014年,乌鲁木齐地区年降水量和年干湿指数分别以11.61 mm·(10 a)<sup>-1</sup>和0.01(10 a)<sup>-1</sup>的倾向率显著增大,年潜在蒸散量以-13.91 mm·(10 a)<sup>-1</sup>的倾向率显著减小,且上述各要素均于1987年发生了突变。年降水量和年干湿指数的空间分布表现为“山区大、平原小”的特点,年潜在蒸散量则呈“平原大、山区小”的空间分布格局。

(2)乌鲁木齐地区可划分为极干旱区、干旱区、半干旱区和半湿润区4个干湿气候分区。受气候变

化影响,1987年后,半干旱区和半湿润区面积分别扩大了1 995 km<sup>2</sup>和1 035 km<sup>2</sup>,占全地区总面积的比率分别增大14.0%和7.3%;而干旱区面积减小了2 982 km<sup>2</sup>和20.9%,极干旱区几近消失。

不同的干湿气候区发育形成与之相适应的生物多样性和地上生物量均有明显差异的草场类型<sup>[21]</sup>。一般地,极干旱区为生物生产力极低的荒漠草场,干旱区是草原化荒漠的主要分布区域,半干旱区多为荒漠草原或典型草原草场,而半湿润区一般发育着生物多样性较丰富、生产潜力较高且草质优良的草甸草原<sup>[21-22]</sup>。近54 a,尤其是1987年以来乌鲁木齐地区半干旱区和半湿润区面积明显扩大,而干旱区和极干旱区明显减小,这对改善草原生态环境、促进草原生态系统的正向演替、提高牧草产量和草质均将产生积极影响。

致谢:本文在乌鲁木齐市气象局普宗朝高级工程师的悉心指导下完成,在此表示衷心感谢!

## 参考文献

- [1] IPCC. Summary for policymakers of climate change 2007: The physical science basis[C]. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 申双和,张方敏,盛琼. 1975—2004年中国湿润指数时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 11—15.
- [3] 张方敏,申双和. 中国干湿状况和干湿气候界限变化研究[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(4): 574—579.
- [4] 杨建平,丁永建,陈仁升,等. 近50年来中国干湿气候界线的10年际波动[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 655—661.
- [5] 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.
- [6] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219—226.
- [7] 靳立亚,李静,王新,等. 近50年来中国西北地区干湿状况时空分布[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 847—854.
- [8] 普宗朝,张山清,李景林,等. 近47年塔克拉玛干沙漠周边地区气候变化[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 413—421.

- [9] 徐德源. 新疆农业气候资源及区划[M]. 北京:气象出版社, 1989. 15–38.
- [10] 普宗朝, 张山清, 李景林, 等. 近48年新疆乌–昌地区气候变化[J]. 干旱区研究, 2010, 27(3): 422–432.
- [11] 普宗朝, 张山清, 宾建华, 等. 新疆乌–昌地区干湿气候要素时空变化分析[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2314–2322.
- [12] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements [M]. Rome: FAO, Irrigation and drainage paper 56, 1998. 377–384.
- [13] 毛飞, 张光智, 徐祥德. 参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较[J]. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 128–136.
- [14] 谢新, 陈仲梅, 陈晓燕, 等. 近36年新疆巴州潜在蒸散量变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(2): 19–22.
- [15] 普宗朝, 张山清, 李景林, 等. 乌鲁木齐河流域参考作物蒸散量时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(1): 41–45.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社, 1999. 42–66.
- [17] 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.
- [18] 普宗朝, 张山清. 新疆水分亏缺量时空变化分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 802–812.
- [19] 郑景云, 卞娟娟, 葛全胜. 1981–2010年中国气候区划[J]. 科学通报, 2013, 58(30): 3088–3099.
- [20] 普宗朝, 张山清, 吉春容, 等. 气候变化对新疆哈密瓜种植气候区划的影响[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(2): 115–122.
- [21] 许鹏. 新疆草地资源及其利用[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1993. 1–36.
- [22] 徐德源. 中国牧区畜牧气候[M]. 北京:气象出版社, 1988. 6–72.

## Climate Feature and Dry – wet Area Change in Urumqi Region of Xinjiang During 1961 – 2014

SHA Biti, MAI Maiti, HUAN Lexi, HA Bulahati, MU Latì,

GENG Yan, FENG Liye, CHEN Liang

(Urumqi Animal Meteorological Experiment Station of Xinjiang, Urumqi 830001, China)

**Abstract:** In order to investigate dry – wet climate change in Urumqi region of Xinjiang, based on the monthly climate data of nine meteorological stations in Urumqi region during 1961 – 2014, the changing trend, abrupt change characteristics, and the change of spatial distribution before and after abrupt change of various dry – wet climate elements including annual precipitation, potential evapotranspiration ( $ET_0$ ) and dry – wet index, were analyzed by using the methods of linear regression, accumulative anomaly, three – dimensional and quadratic trend surface simulation and inverse – distance square weighting residual error revising based on ArcGIS. The change of dry – wet climate division was studied by combining with the dry – wet climate zoning index. The main results are as follows: A wetting trend was evident in recent 54 years in Urumqi region, generally, annual precipitation and dry – wet index increased significantly with the rate of  $11.61 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  and  $0.01 (10 \text{ a})^{-1}$ , but  $ET_0$  decreased obviously with a rate of  $-13.91 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , and the abrupt change for both of them happened in 1987. In general, annual precipitation and dry – wet index were larger in Tianshan Mountain areas than those in plain areas, while  $ET_0$  was larger in plain areas than that in Tianshan mountain areas in Urumqi region. Urumqi region could be divided into 4 dry – wet climate zoning including extremely arid area, arid area, semi – arid area and sub – humid area. The semi – arid area and semi – humid area expanded significantly, but arid area and extremely arid area reduced significantly after 1987 in Urumqi region.

**Key words:** ArcGIS; precipitation;  $ET_0$ ; dry – wet index; climate division; Urumqi region of Xinjiang