

# 近40年我国西北荒漠化区降水 and 气温的 时空变异特征<sup>\*</sup> ——以塔里木河流域为例

李香云<sup>1)</sup> 王立新<sup>2)</sup> 章予舒<sup>2)</sup>

1) (清华大学公共管理学院, 北京 100084)

2) (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要** 基于土地荒漠化的涵义, 以及塔里木河流域的人类活动特点和流域水系的组成状况, 选择了26个与水系组成相关的气象台站1961~2000年的年降水量、夏半年(5~10月)月均气温的资料, 对近40年来该区域土地荒漠化发展的气候背景和时空变异特征进行了分析。年降水量的分析结果表明, 流域平均年降水量为77 mm, 年降水量年际变化较稳定, 变异系数为0.50; 40年来各水系的年降水量普遍呈增加趋势; 年降水量的空间差异较大, 差异系数多年平均为2.29。气温的分析结果表明, 流域多年平均气温为20℃, 气温年际之间变化微弱, 变异系数为0.03; 从气温的变化趋势来看, 流域各水系的增降趋势不同步, 其中叶尔羌河流域和干流上游的气温表现为下降趋势, 其他各水系为增温趋势; 气温空间差异较小, 多年平均为0.21。近40年降水和气温的空间差异具有缩小的趋势。

**关键词:** 塔里木河流域; 气候变化; 土地荒漠化; 生态环境; 时空变异

**文章编号** 1006-9585 (2004) 04-0658-12 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

## 1 引言

荒漠化 (Desertification) 是指包括气候变化和人类活动因素造成的干旱、半干旱和干燥半湿润地区的土地退化<sup>[1]</sup>。荒漠化最早是1949年由法国科学家 Aubreville 在研究法属西非潮湿热带土壤侵蚀时提出的<sup>[2]</sup>, 而引起人们普遍关注的则是1968~1977年间撒哈拉地区的严重干旱及其造成的巨大灾难所形成的现代荒漠化现象<sup>[3]</sup>。近40多年来, 在自然因素和人类因素的作用下, 西北地区土地荒漠化发展迅速, 也多有学者从气候因素角度来分析研究其对荒漠化的作用<sup>[4~6]</sup>。塔里木河流域是西北最大的内陆河流域和典型极端干旱荒漠区, 也是我国最大沙漠——塔克拉玛干沙漠所在地。流域三面环山, 生态系统相对独立, 生态环境恶劣。近40多年来, 由于毁林开荒、河水断流及人为因素影响, 荒漠化发展迅速。目前对这一流域土地荒漠化发展和成因的研究多为以气候因素和人类因素为主的定性分析研究<sup>[7]</sup>。气候条件作为流域荒漠化发展的重要自然因素, 多年来对其变化的分析也较多<sup>[8,9]</sup>, 但流域是否产生了像撒哈拉地区的持续

2003-09-23 收到, 2004-10-12 收到再改稿

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展规划项目 G1999043505 和 G1999043509 资助

干旱现象，或者流域气候变化异常而导致荒漠化发展的研究目前还较少，本文选取流域内与水系有关的 26 个气象站点 1961~2000 年的降水、气温资料，着重分析其近 40 年来的降水、气温状况以及在时间和空间上变异特征，为该区的土地荒漠化成因研究提供基础依据。

2 研究区概况及采用数据

塔里木河流域由四源流（阿克苏河、叶尔羌河、田河和开都—孔雀河）及干流组成，其中干流上游有三源流，开都—孔雀河注入罗布泊，后经人工修建库塔干渠，将开都—孔雀河水引入干流下游。

塔里木河流域水系所支撑的绿洲是人类的主要活动区，流域土地荒漠化发展的人为因素主要产生于人类活动对水资源的调节而破坏了流域水系的整体性。基于这一特点，按照流域的水系组成结构，选择与水系发生联系的气象站点 26 个（表 1），其中气温站为 25 个，分析其在荒漠化发展中的气候因素作用。需要说明的是，开都—孔雀河注入塔里木河干流下游主要用于解决下游灌区生产用水不足问题，故本文只探讨三源流区和干流的气候变化。

表 1 按流域组成选用的气象站点

| 塔里木河流域组成 |      | 站 点                            | 备 注       |
|----------|------|--------------------------------|-----------|
| 源流       | 叶尔羌河 | 托云，乌恰，阿图什，喀什，阿克陶，英吉沙，伽师，岳普湖，巴楚 | 北支：喀什噶尔河  |
|          |      | 塔什干，叶城，泽普，莎车                   | 南支：叶尔羌河干流 |
|          | 阿克苏河 | 阿合奇，乌什，阿克苏                     |           |
|          | 和田河  | 和田                             |           |
| 干流       | 上游   | 阿拉尔                            |           |
|          | 中游   | 拜城，新和，沙雅，库车，轮台                 |           |
|          | 下游   | 尉犁，铁干里克，若羌                     |           |

3 塔里木河流域的降水时空变异

3.1 源流区的降水时间变化及趋势

源流区主要由发源于天山的阿克苏河，发源于昆仑山的叶尔羌河，和田河 3 个水系组成。

3.1.1 阿克苏河的降水

阿克苏河上的 3 个气象站中，阿合奇站的海拔最高，因而降水量相对较多，多年平均降水量为 201 mm；其次是乌什站，年均降水量为 105 mm；阿克苏站为平原站，降水较少，为 71 mm。3 个气象台站的年降水量在 1961~2000 年 40 年间表现为明显的上升趋势（图 1），其中以阿合奇增幅最大，线性趋势的增幅为 1.57 mm a<sup>-1</sup>；其次为乌什站，增幅为 1.36 mm a<sup>-1</sup>，阿克苏河增加较小为 0.67 mm a<sup>-1</sup>。

3.1.2 叶尔羌河的降水

叶尔羌河有两条支流，其中主流为叶尔羌河（干流），北侧有喀什噶尔河等支流汇

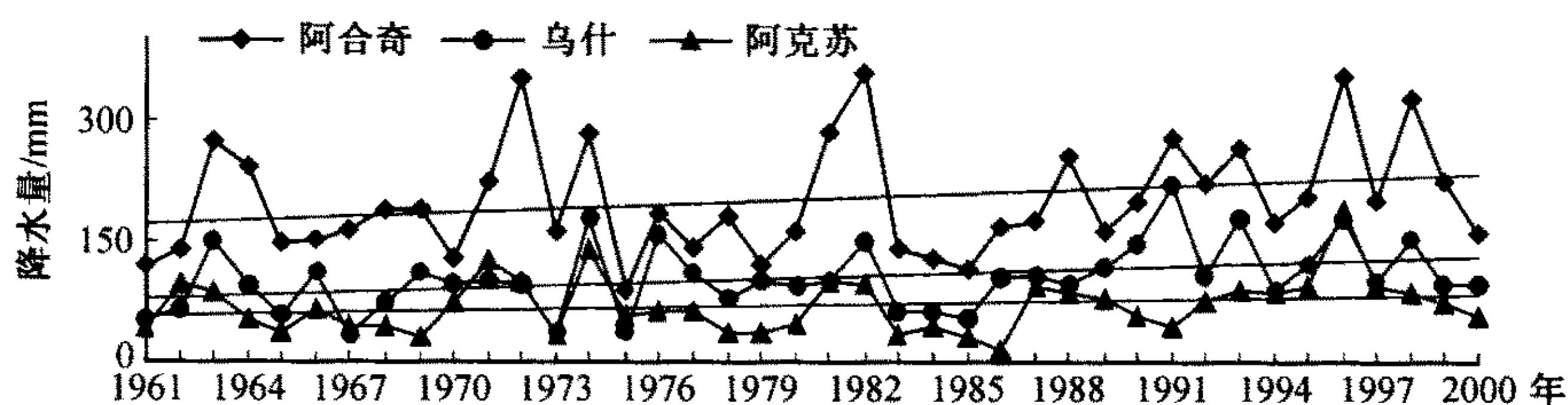


图1 阿克苏河年降水的变化及趋势

入。两条支流由于地形结构的不同,气象状况也不同。本文只采集到叶尔羌河干流上 4 个气象台站的数据,在这 4 个台站中,塔什库尔干海拔较高,多年平均降水量在 4 个台站中较多,为 69 mm,平原区的 3 个台站的降水都较小,年均均为 53 mm。叶尔羌河干流多年平均不足 60 mm。

从叶尔羌河干流上 4 个气象台站年降水时间序列的演变趋势来看(图 2,因曲线较为密集,图中仅示出部分站,下同),也都呈增加趋势,但增加幅度不等。泽普线性趋势的增幅为  $0.57 \text{ mm a}^{-1}$ ,其次为莎车增幅为  $0.42 \text{ mm a}^{-1}$ ,叶城站的增幅为  $0.25 \text{ mm a}^{-1}$ ,塔什库尔干的增幅最小为  $0.13 \text{ mm a}^{-1}$ 。叶尔羌河干流年降水量平均增加幅度为  $0.34 \text{ mm a}^{-1}$ 。

叶尔羌河另一大支流喀什噶尔河上共有 9 个台站,这一区域是人类活动的密集区,为叶尔羌河流域的主要灌区所在。其降水量呈明显的地形梯度效应,托云和乌恰因海拔较高,年降水量最大,托云年均降水量为 240 mm,乌恰站为 172 mm;其次为阿图什和阿克陶,分别为 80 和 72 mm;平原区的 5 个台站的平均降水量为 62 mm。叶尔羌河流域这一支流的平均降水量为 66 mm。

从喀什噶尔河上 9 个气象台站年降水时间序列的演变趋势来看(图 3),除了喀什站呈下降趋势外(降幅为  $0.15 \text{ mm a}^{-1}$ ),大多呈增加趋势。各站的增加幅度不等,2

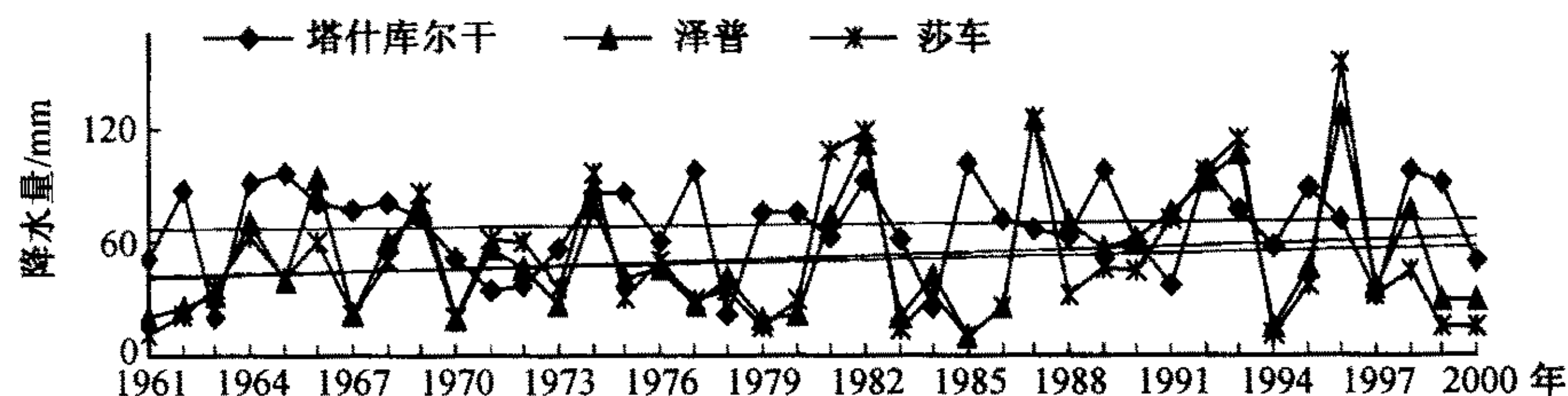


图2 叶尔羌河干流年降水量的变化及趋势

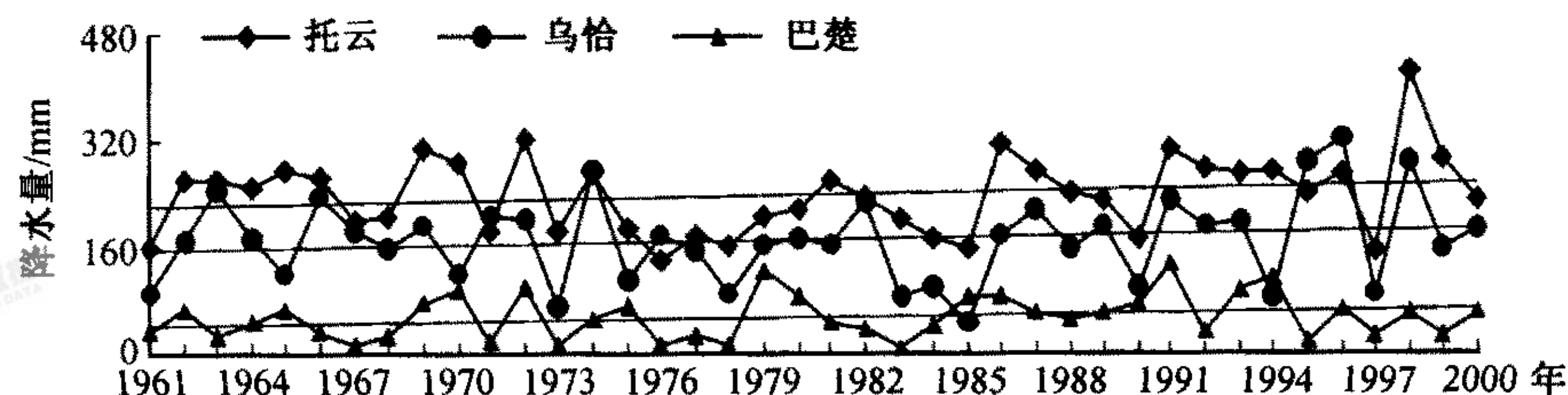


图3 叶尔羌河支流喀什噶尔河年降水变化及趋势

个山区站（伽师站和阿克陶站）的增幅最高。线性趋势的增幅分别为：托云站为  $0.97 \text{ mm a}^{-1}$ ，伽师为  $0.82 \text{ mm a}^{-1}$ ，乌恰为  $0.81 \text{ mm a}^{-1}$ ，阿克陶为  $0.75 \text{ mm a}^{-1}$ ，巴楚和岳普湖增幅约为  $0.53 \text{ mm a}^{-1}$ ，阿图什为  $0.22 \text{ mm a}^{-1}$ ，英吉沙增幅最小为  $0.16 \text{ mm a}^{-1}$ 。喀什噶尔河年降水量平均增加幅度为  $0.52 \text{ mm a}^{-1}$ 。

### 3.1.3 和田河的降水

本文只采集到和田河上 1 个气象台站即和田站的数据，其他各站如墨玉和洛浦等站，由于距和田站较近，数据相差不大，故和田站资料具有一定的代表性。和田站多年平均降水量为  $35 \text{ mm}$ ，年降水量较小。该站年降水时间序列的演变趋势（图 4）也呈增长趋势，年增长幅度为  $0.18 \text{ mm a}^{-1}$ 。

以上分析表明，三源流中叶尔羌河的降水量最丰，和田河的降水量最小。1961～2000 年间源流区的降水量呈增加趋势，增加幅度为  $0.58 \text{ mm a}^{-1}$ 。

## 3.2 塔里木河干流区降水的时间变化及趋势

塔里木河干流基本上不产流，其水量来源于以上三源流的供给，为径流的耗散区。干流流程较长，一般划分为上游、中游和下游区。

### 3.2.1 干流上游的降水

干流上游只有阿拉尔一个水文站，多年平均降水量为  $49 \text{ mm}$ 。从其时间过程来看（图 5），也呈增长趋势，年增长幅度为  $0.48 \text{ mm a}^{-1}$ 。

### 3.2.2 干流中游的降水

干流中游区选择了拜城、新和、沙雅、库车、轮台 5 个气象台。在这 5 个气象站中，降水量以拜城站最大，年均降水量为  $113 \text{ mm}$ ；沙雅站最少，年均降水量为  $59 \text{ mm}$ ；新和、库车、轮台 3 站降水较为接近，3 站多年平均为  $67 \text{ mm}$ 。

干流中游区的 5 个气象站的线性趋势分析结果表明，该区的降水量呈明显的上升趋势（图 6）。其中，拜城站的增幅最大，为  $1.62 \text{ mm a}^{-1}$ ；其次为轮台，增幅为  $1.39 \text{ mm a}^{-1}$ ；沙雅站和库车站的增幅分别为  $1.07$  和  $0.96 \text{ mm a}^{-1}$ 。总体上看，中游区的降水增幅较大，平均增幅为  $1.20 \text{ mm a}^{-1}$ 。

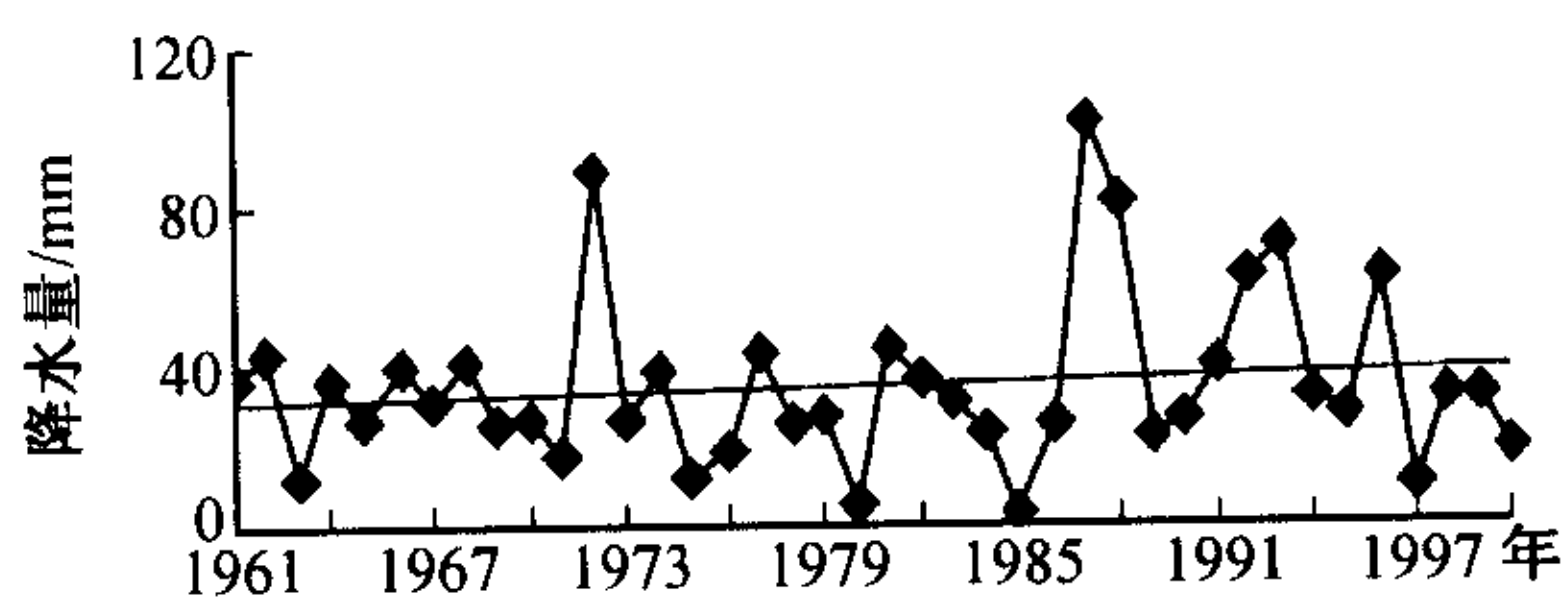


图 4 和田河年降水变化及趋势

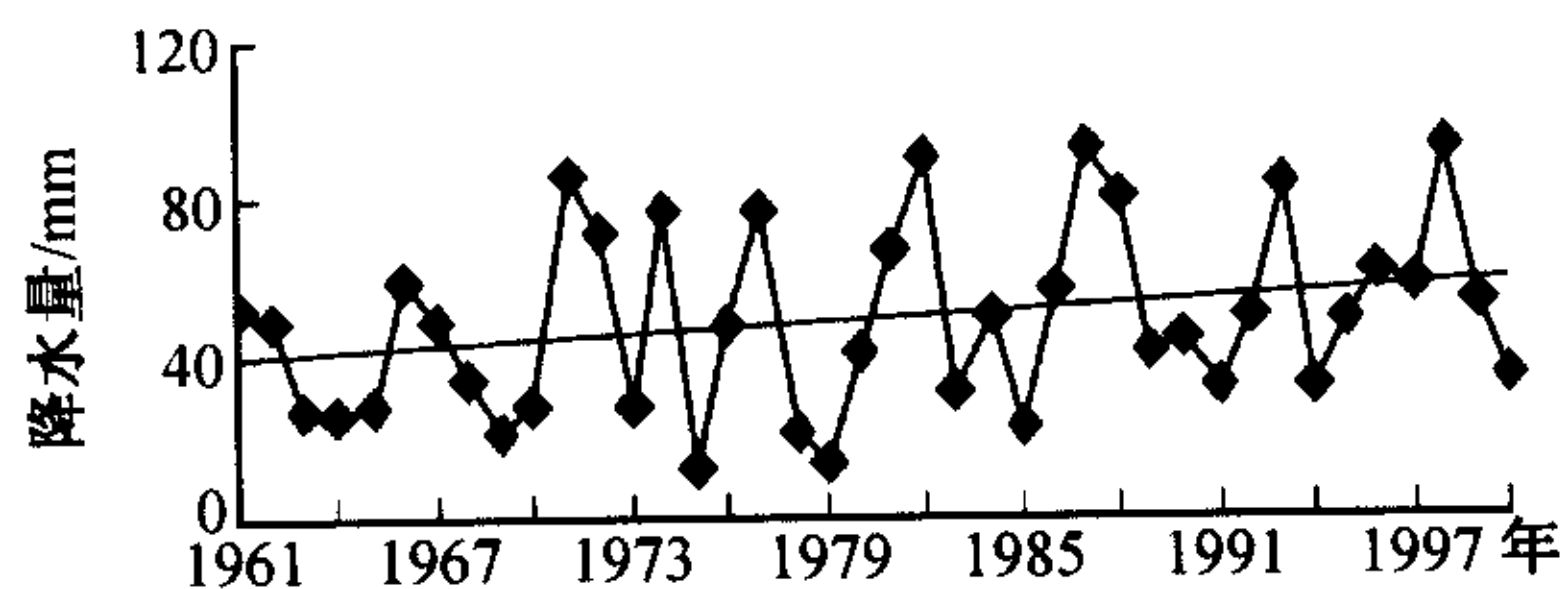


图 5 塔里木河干流上游年降水变化及趋势

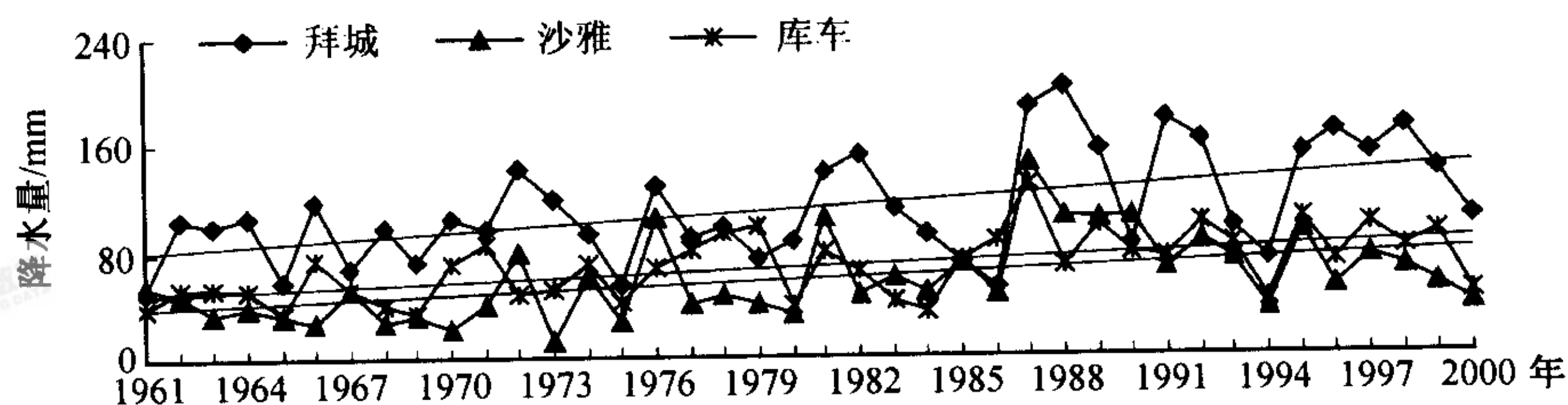


图 6 塔里木河流域干流中游年降水变化及趋势

### 3.2.3 干流下游的降水

塔里木河干流下游区选择了 3 个气象站：尉犁、铁干里克和若羌。近 40 年来塔里木河下游的这 3 个气象站的降水同样呈上升趋势（图 7）。其中，尉犁和若羌站的增幅基本相同，分别为  $0.47$  和  $0.46 \text{ mm a}^{-1}$ ，铁干里克的增幅较小为  $0.11 \text{ mm a}^{-1}$ 。3 站平均增幅为  $0.35 \text{ mm a}^{-1}$ ，表明下游区降水增幅较小。

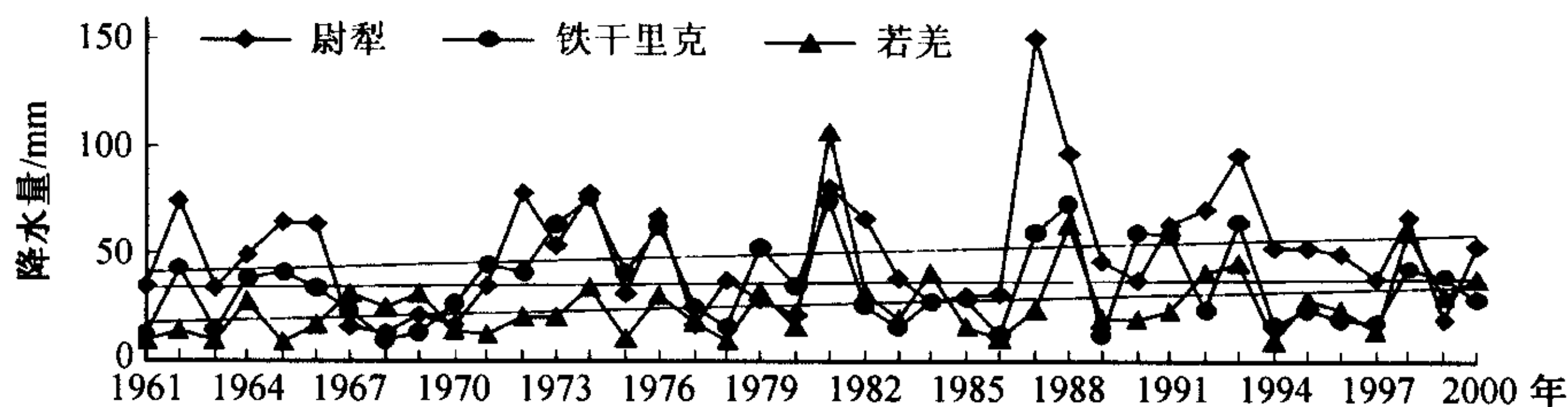


图 7 塔里木河流域干流下游年降水变化及趋势

对塔里木河干流多年降水情况的分析表明，干流区的降水量呈上升趋势，但区域上中下游的增加幅度不同，中游区降水增幅最大，下游的增幅最小。

### 3.3 塔里木河流域年降水量时间变异特征

本文用变异系数  $C_v$  (Coefficient of Variance) 反映气象要素的变异特征。变异系数  $C_v$  是一个用来反映时间序列波动的统计指标， $C_v$  值越大，表明序列变化越大，序列越不稳定。计算公式为

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{Ti} - \overline{P_T})^2} / \overline{P_T}, \quad \overline{P_T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{Ti}, \quad (1)$$

式中， $P_{Ti}$  为第  $i$  年气象要素观测值（本文为降水、气温）， $i=1, 2, \dots, n$ ； $\overline{P_T}$  为气象要素的多年平均值。

按式 (1) 计算出塔里木河流域  $C_v$  在  $0.24 \sim 0.70$ （表 2），表明研究区降水年际变

表 2 塔里木河流域年降水量的时间变异特征

| 河流   | 气象站   | 高程/<br>m | 趋势<br>显著性 | $C_v$ | 降水量/<br>mm | 河流   | 气象站  | 高程/<br>m | 趋势<br>显著性 | $C_v$ | 降水量/<br>mm |
|------|-------|----------|-----------|-------|------------|------|------|----------|-----------|-------|------------|
| 叶尔羌河 | 托云    | 3505     |           | 0.24  | 240.0      | 和田河  | 和田   | 1375     |           | 0.60  | 35.3       |
|      | 塔什库尔干 | 3091     |           | 0.33  | 68.9       | 阿克苏河 | 阿合奇  | 1985     | ↗         | 0.35  | 200.7      |
|      | 乌恰    | 2137     |           | 0.54  | 172.2      |      | 乌什   | 1396     | ↗**       | 0.39  | 105.0      |
|      | 岳普湖   | 1500     | ↗         | 0.54  | 60.6       |      | 阿克苏  | 1104     | ↗         | 0.47  | 70.7       |
|      | 叶城    | 1361     |           | 0.58  | 56.1       | 干流上游 | 阿拉尔  | 1012     | ↗         | 0.46  | 49.2       |
|      | 阿克图   | 1324     | ↗*        | 0.58  | 71.7       | 干流中游 | 拜城   | 1229     | ↗**       | 0.35  | 112.7      |
|      | 阿图什   | 1298     |           | 0.52  | 79.9       |      | 库车   | 1099     | ↗**       | 0.49  | 68.5       |
|      | 英吉沙   | 1298     |           | 0.64  | 68.3       |      | 新和   | 1012     | ↗**       | 0.50  | 68.9       |
|      | 喀什    | 1289     |           | 0.60  | 63.3       |      | 沙雅   | 980      | ↗**       | 0.53  | 58.6       |
|      | 泽普    | 1273     | ↗         | 0.59  | 52.6       |      | 轮台   | 976      | ↗**       | 0.34  | 63.2       |
|      | 莎车    | 1232     | ↗         | 0.70  | 50.4       | 干流下游 | 若羌   | 888      | ↗         | 0.69  | 26.5       |
|      | 喀什    | 1209     | ↗         | 0.37  | 62.2       |      | 尉犁   | 885      | ↗         | 0.55  | 50.2       |
|      | 巴楚    | 1117     | ↗         | 0.53  | 56.1       |      | 铁干里克 | 846      |           | 0.54  | 36.0       |

注：↗为线性增加趋势，其显著性水平小于 0.15；\* 为显著性水平小于 0.05；\*\* 为显著性水平小于 0.01。

化较小，降水相对稳定。从各流域的降水变率来看，变化较大的是和田河， $C_v$  为 0.60， $C_v$  较小的是干流中游，为 0.44，各流域的变异系数较为接近。

### 3.4 塔里木河流域年降水量的空间变异特征

塔里木河流域年降水量的空间分布也呈明显的地形梯度效应，山区降水多于平原；平原降水量稀少，但在 1961~2000 年间降水呈增加趋势；流域北缘的降水量（如阿克苏河）比南缘的降水量多（如和田河）。尽管流域内的降水量呈增加趋势，但年际变化的波动对区域的荒漠化发展也会产生作用。

#### 3.4.1 年降水量增幅的空间特征

塔里木河流域内，除喀什站有较弱的减少趋势外，其余各站均为增加趋势。增加幅度的空间特征表明（表 2），位于流域北缘的阿克苏河和干流中游的降水增幅较大，分别为  $1.20$  和  $1.23 \text{ mm a}^{-1}$ ；位于南缘的和田河和干流下游的降水增幅较小，分别为  $0.18$  和  $0.29 \text{ mm a}^{-1}$ ；叶尔羌河和干流上游的降水增幅基本接近，分别是  $0.46$  和  $0.48 \text{ mm a}^{-1}$ 。各站的降水增幅与高程相关性较差（相关系数为 0.047），表明降水增幅与站点的高程无关。

#### 3.4.2 年降水量的空间变异特征

本文用空间变异系数来反映流域降水量的空间差异，其计算公式同式（1），但式中的  $P_{Ti}$  不是时间序列值，而是空间站点的观测值，即第  $i$  个气象站的气象要素值。计算结果表明，塔里木河流域年降水量空间差异较大（图 8），空间变异系数在 1.75~3.15 间变化，平均为 2.29。线性趋势表现出下降态势（显著性水平为 0.075），这表明在近 40 年中，降水量变化所产生的空间差异具有缩小态势。

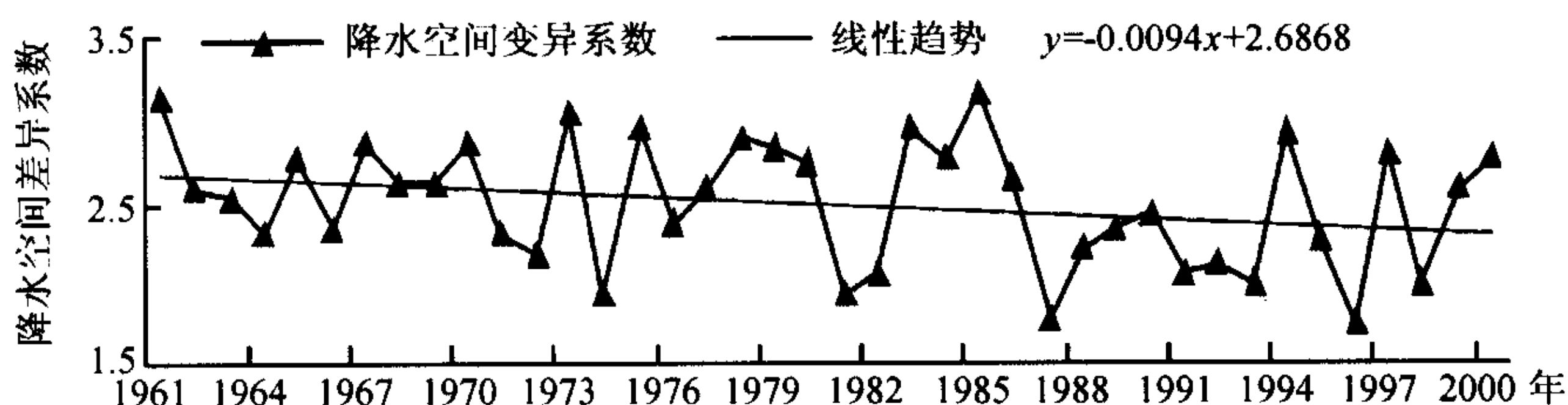


图 8 塔里木河流域降水空间差异系数变化及趋势

## 4 塔里木河流域的气温时空变异

在研究塔里木河流域的气候变化时，一般常使用年均气温资料<sup>[2,3]</sup>。为了更好地反映荒漠化中的气温变化，本文则选用夏半年即 5~10 月的月均气温资料。其原因有二，一是年均气温具有平滑气温变化的作用，二是夏半年气温（以下简称气温）对荒漠化发展的作用更为显著。

### 4.1 源流区的气温变化及趋势

#### 4.1.1 阿克苏河的气温

3 个气象站中，阿克苏站的气温最高，多年平均气温为  $20^{\circ}\text{C}$ ，乌什站为  $19^{\circ}\text{C}$ ，阿合奇站较低为  $15^{\circ}\text{C}$ 。从多年气温变化来看（图 9），3 站夏半年气温具有较好的同步

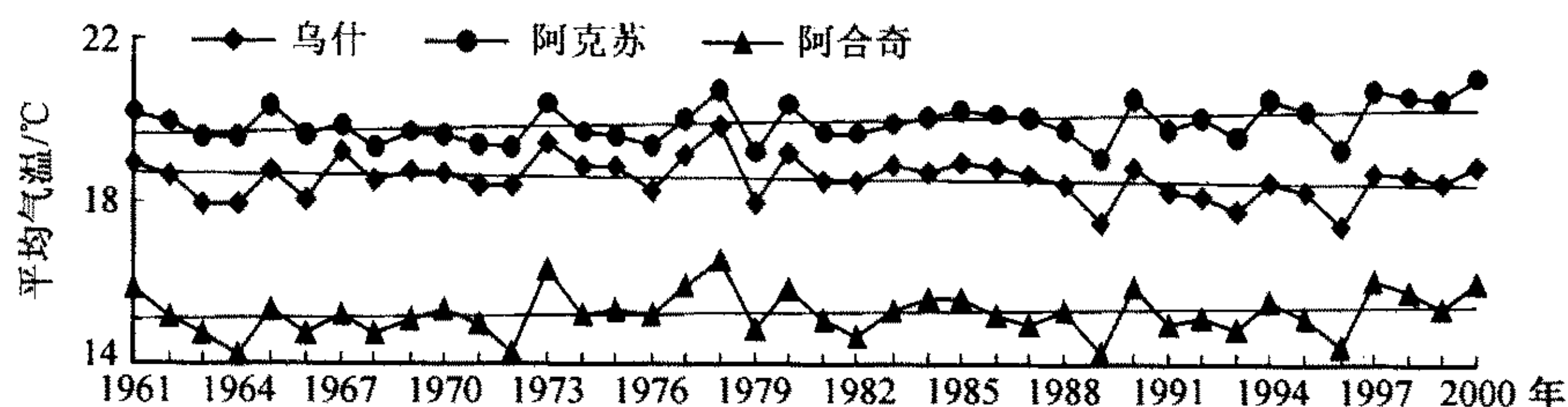


图9 阿克苏河流域气温变化及趋势

性, 线性趋势表明, 气温有微弱的增加, 但增幅不显著。其中, 阿克苏站增幅相对较大, 线性趋势的增幅为  $0.018\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ , 阿合奇站为  $0.009\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ , 乌什站呈微弱下降趋势, 下降幅度为  $0.007\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。

#### 4.1.2 叶尔羌河的气温

叶尔羌河支流之一叶尔羌河干流上的 4 个站点中, 塔什库尔干站因海拔较高, 气温较低, 多年平均夏半年气温为  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 莎车、叶城、泽普 3 个站的平均气温相同, 均为  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从这 4 个站的夏半年气温时序来看 (图 10), 气温线性趋势不同步, 有增有降。塔什库尔干和叶城站表现为增势, 增加幅度分别为  $0.024$  和  $0.158\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ; 而泽普和莎车站表现为降势, 下降幅度以泽普站最为显著, 为  $0.016\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ , 莎车站下降幅度为  $0.001\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ , 降势微弱。

叶尔羌河另一支流喀什噶尔河的 6 个平原区的气象站多年平均夏半年气温较为接近, 在  $21\sim 23\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间, 平均为  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从其气温时序过程来看 (图 11), 气温的增降趋势不同步, 英吉沙和巴楚表现为增温趋势, 线性趋势线的增幅分别为  $0.028$  和  $0.016\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ , 英吉沙的增幅较大; 伽师、岳普湖、喀什和阿图什表现为降温趋势, 趋势线的降幅分别为  $0.015$ 、 $0.012$ 、 $0.009$  和  $0.001\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。

#### 4.1.3 和田河的气温

和田河上的和田站多年平均夏半年气温为  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该站的气温时序过程表明 (图 12), 线性趋势为增势, 其增加幅度为  $0.015\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。

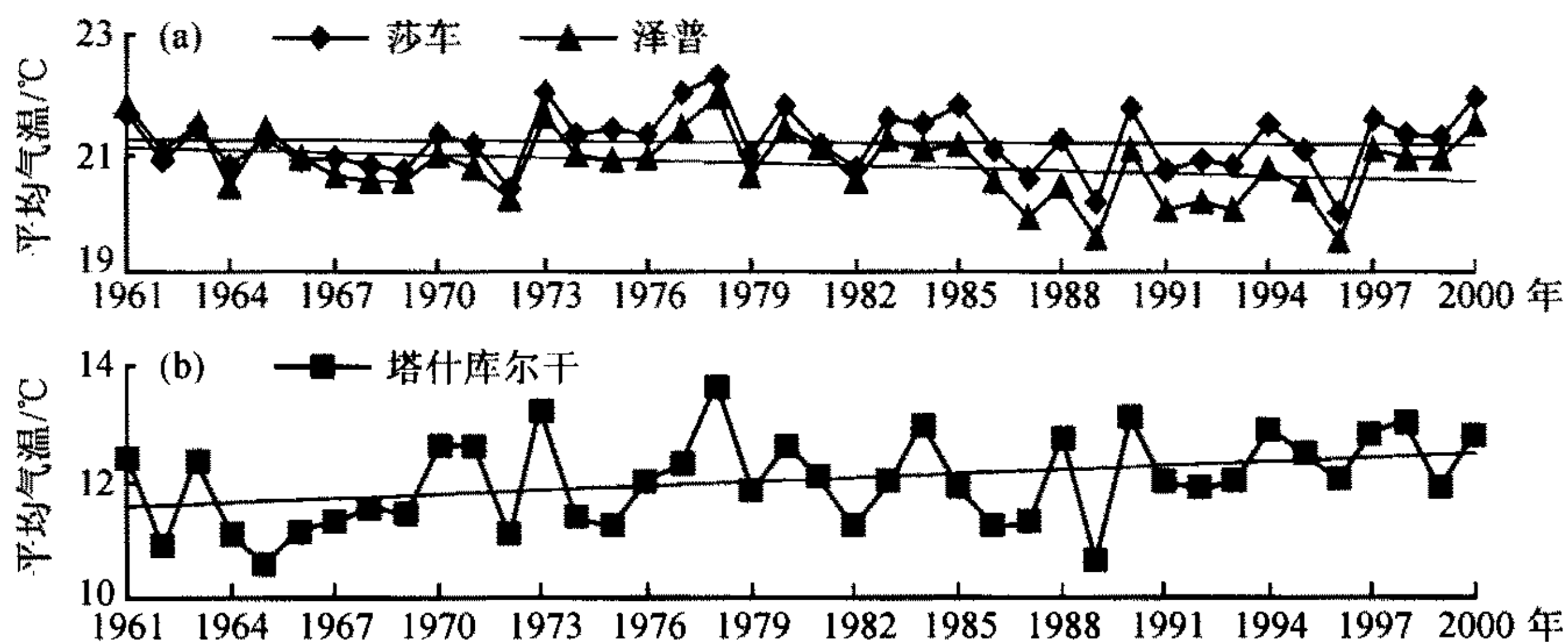


图10 叶尔羌河干流气温变化及趋势

(a) 莎车、泽普; (b) 塔什库尔干

## 4.2 塔里木河干流的气温变化及趋势

### 4.2.1 干流上游的气温

干流上游的阿拉尔站的多年平均夏半年气温为  $21^{\circ}\text{C}$ 。其气温时序过程表明 (图 13), 线性趋势为下降, 下降幅度为  $0.006^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。

### 4.2.2 干流中游的气温

干流上 5 个气象站中, 除拜城的气温相对较低外 (多年平均夏半年气温为  $16^{\circ}\text{C}$ ), 其余 4 个站的平均气温相同, 均为  $21^{\circ}\text{C}$ 。从各站的气温时序过程来看 (图 14 给出 3 个站), 除库车为降温趋势外, 其他 4 站表现为增温趋势。库车线性趋势下降幅度为  $0.027^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。拜城、轮台、沙雅和新和 4 站中, 轮台和沙雅站的增温幅度最大, 分别为  $0.031$  和  $0.030^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ; 新和站的增温幅度为  $0.010^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ; 拜城站的增幅最小, 为  $0.003^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。

### 4.2.3 干流下游的气温

干流下游的 3 个站多年平均夏半年气温基本相同, 为  $22^{\circ}\text{C}$ , 高于流域其他地区。从各站的气温时序过程来看 (图 15), 尉犁表现为降温趋势, 线性趋势的下降幅度为  $0.014^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ; 铁干里克表现为显著的增加趋势, 增温幅度为  $0.023^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ; 若羌也表现为增温, 增温幅度为  $0.017^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。

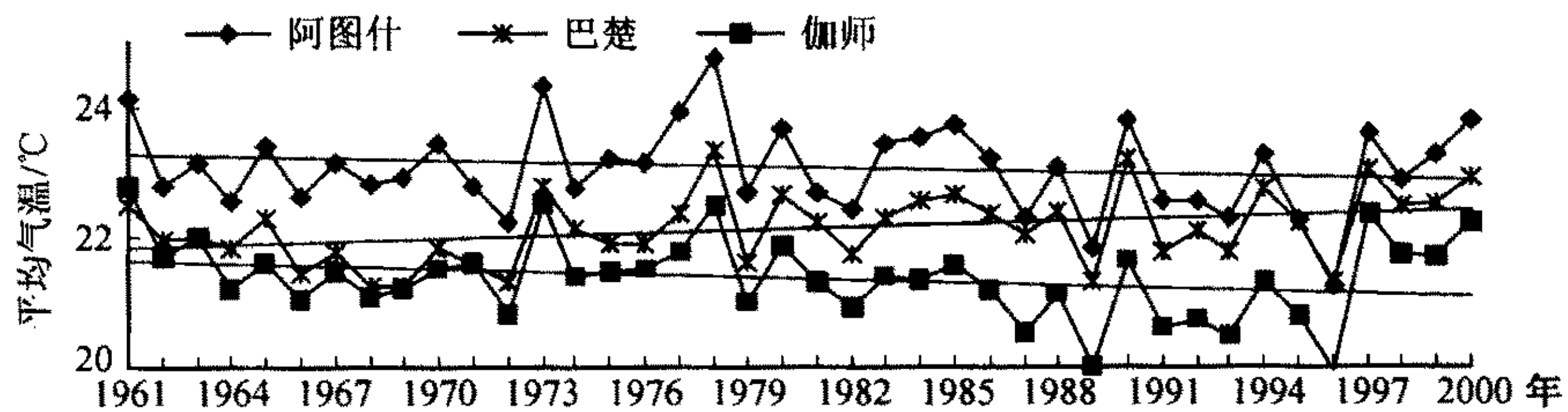


图 11 叶尔羌河支流喀什噶尔河气温变化及趋势

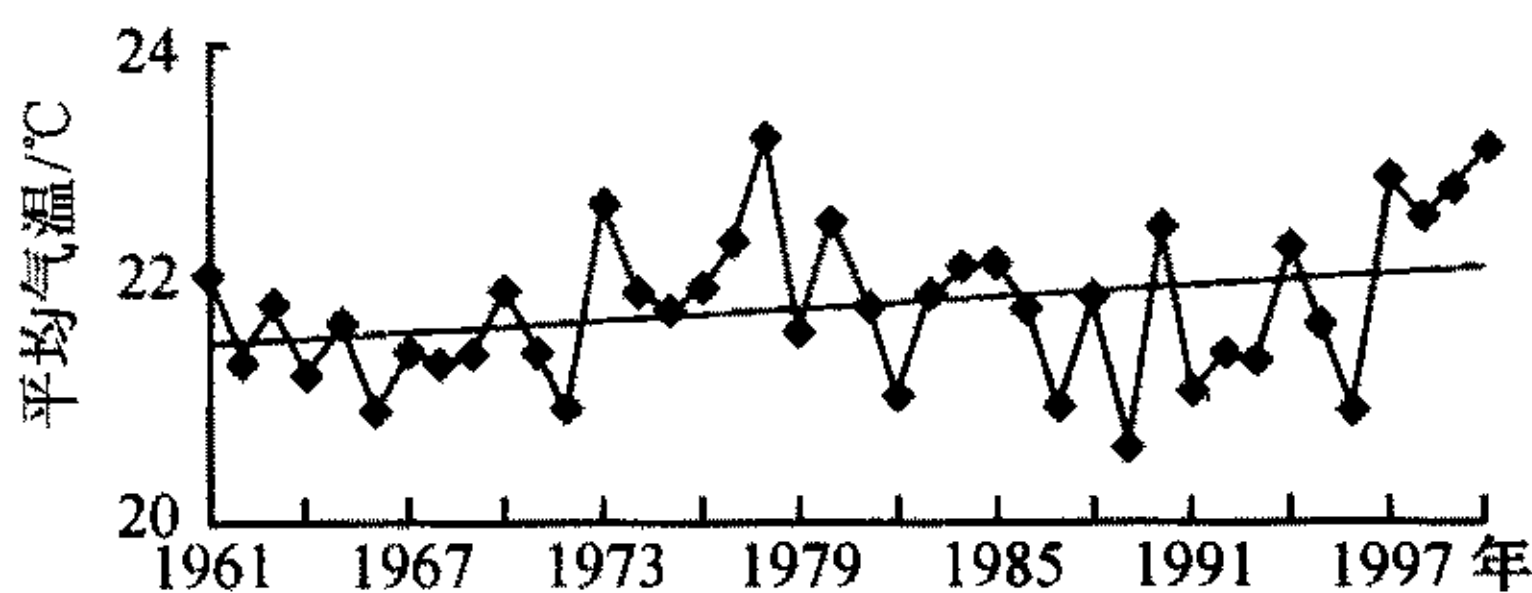


图 12 和田河气温变化及趋势

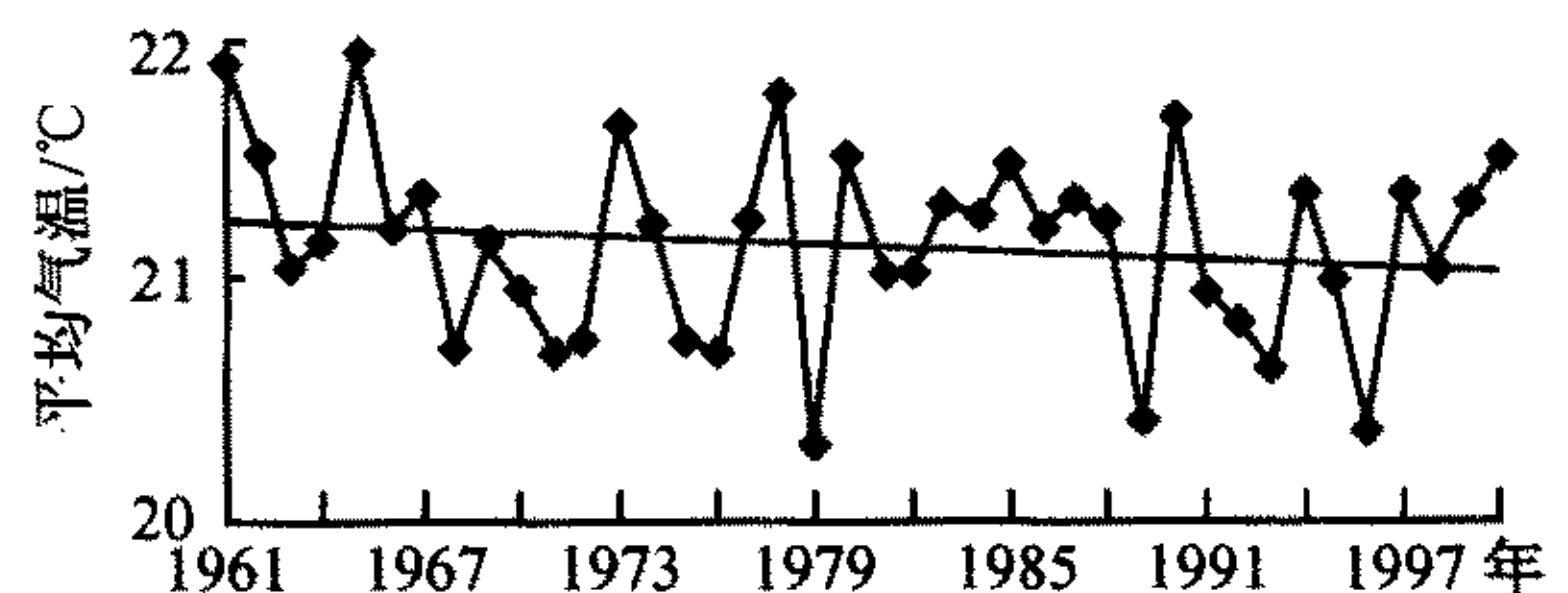


图 13 塔里木河干流上游气温变化及趋势

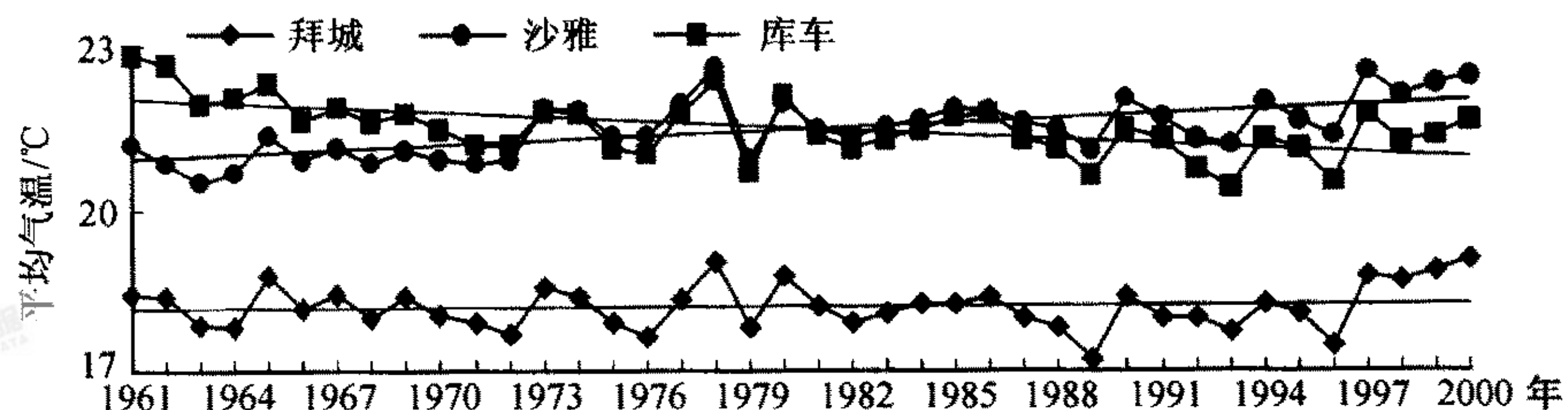


图 14 塔里木河流域干流中游气温变化及趋势

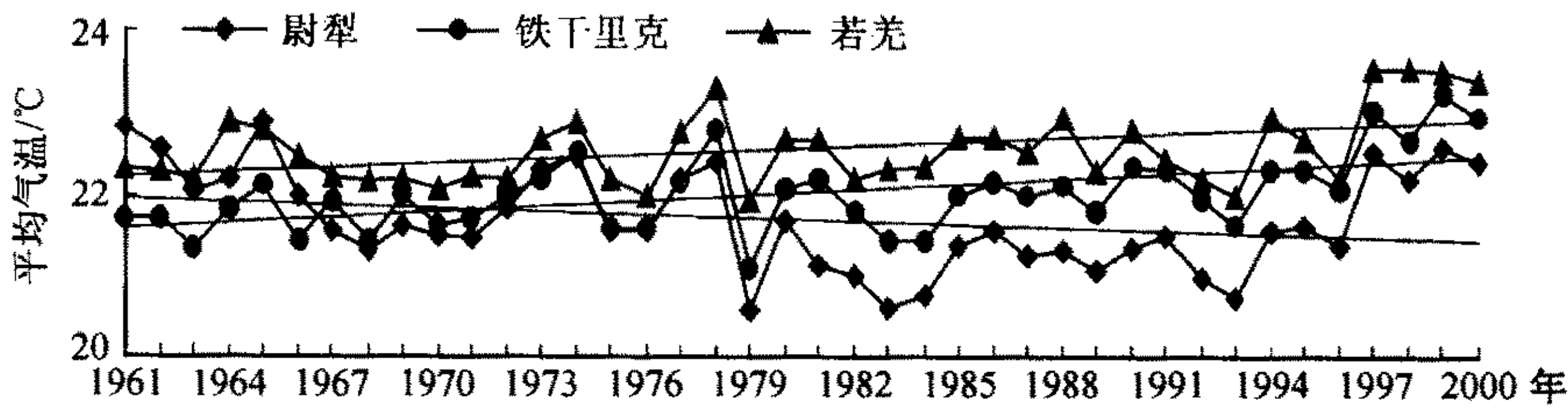


图 15 塔里木河流域干流下游气温变化及趋势

4.3 塔里木河流域气温的时间变异特征

塔里木河下游的气温变化并不剧烈，变异系数在 0.02~0.70 之间（表 3），表现出较为稳定的特点。从流域各水系的气温变率来看，源流区中，叶尔羌河气温最为稳定， $C_v$  为 0.14；变化较大的是阿克苏河和田河， $C_v$  分别为 0.47 左右。干流区的变异系数普遍较小，干流上游的气温变化幅度最小，其次是干流下游， $C_v$  为 0.14。对各站气温与其高程进行相关分析的结果表明，两者之间无显著的相关关系。

表 3 塔里木河流域气温的时间变异特征

| 河流   | 气象站   | 高程/<br>m | 趋势<br>显著性 | $C_v$ | 气温/<br>℃ | 河流   | 气象站  | 高程/<br>m | 趋势<br>显著性 | $C_v$ | 气温/<br>℃ |
|------|-------|----------|-----------|-------|----------|------|------|----------|-----------|-------|----------|
| 叶尔羌河 | 托云    | 3505     | ↗ *       | 0.19  | 3.7      | 和田河  | 和田   | 1375     | ↗         | 0.47  | 21.8     |
|      | 塔什库尔干 | 3091     | ↗ *       | 0.06  | 12.0     | 阿克苏河 | 阿合奇  | 1985     |           | 0.39  | 18.6     |
|      | 乌恰    | 2137     | ↗ * *     | 0.05  | 15.9     |      | 乌什   | 1396     |           | 0.70  | 20.0     |
|      | 岳普湖   | 1500     | ↘ *       | 0.03  | 21.6     |      | 阿克苏  | 1104     | ↗ *       | 0.02  | 21.1     |
|      | 叶城    | 1361     | ↗ *       | 0.58  | 20.8     | 干流上游 | 阿拉尔  | 1012     |           | 0.02  | 18.2     |
|      | 阿图什   | 1298     |           | 0.03  | 23.1     | 干流中游 | 拜城   | 1229     |           | 0.34  | 21.5     |
|      | 英吉沙   | 1298     | ↗ * *     | 0.03  | 21.5     |      | 库车   | 1099     | ↘ * *     | 0.35  | 20.9     |
|      | 喀什    | 1289     |           | 0.03  | 21.3     |      | 新和   | 1012     | ↗         | 0.53  | 21.5     |
|      | 泽普    | 1273     | ↘ *       | 0.59  | 20.8     |      | 沙雅   | 980      | ↗ * *     | 0.03  | 21.3     |
|      | 莎车    | 1232     |           | 0.02  | 21.2     |      | 轮台   | 976      | ↗ * *     | 0.02  | 22.6     |
|      | 喀什    | 1209     | ↘         | 0.03  | 21.4     | 干流下游 | 若羌   | 888      | ↗ * *     | 0.50  | 21.7     |
|      | 巴楚    | 1117     | ↗ *       | 0.02  | 22.1     |      | 尉犁   | 885      | ↘         | 0.02  | 22.0     |
|      |       |          |           |       |          |      | 铁干里克 | 846      | ↗ * *     | 0.35  | 15.3     |

注：↗为线性增加趋势，↘为线性减小趋势，其显著性水平小于 0.15；\* 为显著性水平小于 0.05，\* \* 为显著性水平小于 0.01。

4.4 塔里木河流域气温的空间变异特征

气温的空间差异比降水要小得多。气温变化与高程有较密切的负相关关系，本文选用的气温数据与高程的相关系数达到-0.93。4 个山区气象站（海拔 1 985 m 以上）的平均夏半年气温为 11.7 ℃，16 个气象站位于 1 000~1 500 m，其平均气温为 20.8 ℃，5 个位于 1 000 m 以下的气象站平均气温为 21.8 ℃。气温的空间差异从时间上看，也具有差异减小的趋势。

4.4.1 夏半年气温增幅的空间特征

塔里木河流域中，夏半年平均气温的时序变化与降水的变化不同，并没有表现出

同一的增温或降温趋势（表 3）。源流区中，叶尔羌河为降温趋势，各站平均下降幅度为  $0.006\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ，和田河和阿克苏河为增温趋势，其中，和田河增温趋势较为显著，增温幅度为  $0.015\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ，阿克苏河增幅较弱，为  $0.007\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。干流区中干流上游表现为弱降温趋势，降幅为  $0.006\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ；干流中游与下游为增温趋势，尤以下游增温趋势显著，增幅为  $0.014\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ，中游区的增幅为  $0.009\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ 。对气温与高程进行相关分析，计算出其相关系数为 0.15，表明气温的变化与高程关系微弱。

干流下游气温的增加，加大了区域的蒸发力，在本身降水量稀少、地面干燥的情况下，再加上地表来水量的骤减，无疑加速了土地荒漠化的发展趋势。

#### 4.4.2 夏半年气温的空间变异特征

气温空间变异系数的计算结果表明，塔里木河流域年降水量空间差异较小（图 16），1961~2000 年间，空间变异系数在 0.19~0.24 间变化，平均为 0.21，其差异变化是降水的 1/10。其线性趋势表现出下降态势（显著性水平为 0.006），这表明气温变化所产生的空间差异也具有缩小态势。

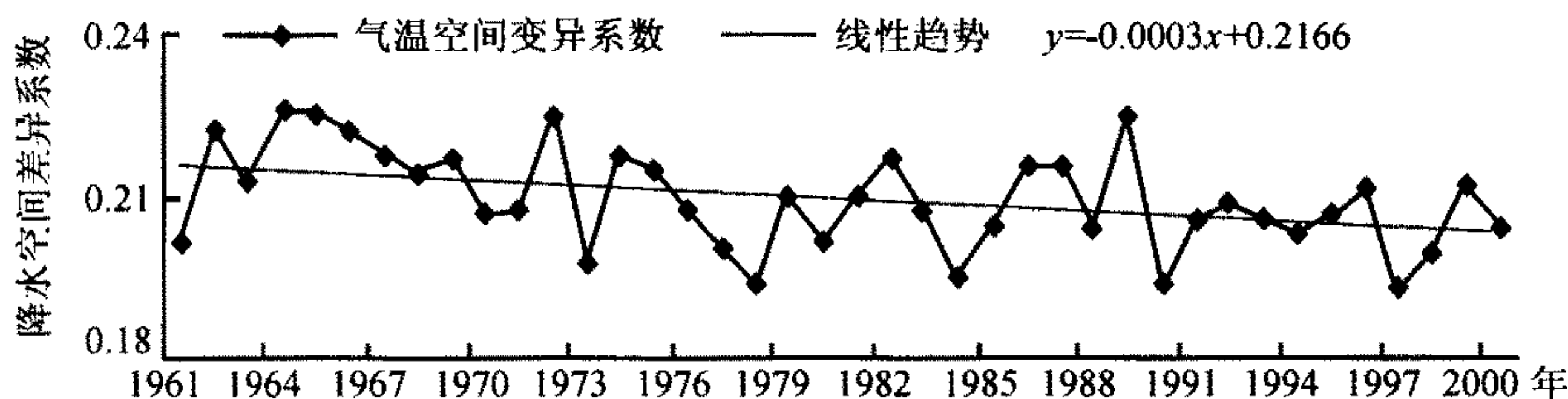


图 16 塔里木河流域降水空间差异系数变化及趋势

## 5 结语

本文基于土地荒漠化的涵义，以及塔里木河流域的人类活动特点和流域水系的组成状况，选择了 26 个与水系组成相关的气象台站 1961~2000 年的年降水量和夏半年（5~10 月）月均气温的资料，对该区域现代土地荒漠化发展的气候背景及近 40 年来时空变化的特征进行了分析。对年降水量的分析结果表明，近 40 年来，流域平均年降水量为 77 mm，年降水量年际变化较稳定， $C_v$  为 0.50，各水系的年降水量普遍呈增加趋势。对夏半年月均气温的分析结果表明，近 40 年来，流域多年平均气温为  $20^{\circ}\text{C}$ ，气温年际之间变化微弱， $C_v$  为 0.03。从气温的变化趋势来看，流域各水系的增降趋势不同步，其中叶尔羌河流域和干流上游的气温表现为下降趋势，其他各水系为增温趋势。塔里木河流域近 40 年来的降水、气温变化趋势基本上表现为暖湿型（叶尔羌河流域为冷湿型），这点与西北地区气候变暖总的趋势是接近的<sup>[10]</sup>，不同的是，塔里木河流域的气候变化为湿型而非干型。

塔里木河流域极为干旱和沙漠环境的自然背景，使该区成为荒漠化潜在发生区。本文的分析结果表明，近 40 年来，塔里木河流域并没有产生持续干旱过程，反而具有趋湿型的特征，一般来说，这种转变会对区域的生态环境产生积极的影响；研究区气温虽略有上升，但上升幅度很低；气温和降水的年际变化都较小且空间变化具有缩小的趋势。这表明，近 40 年来流域内特别是干流下游区土地荒漠化急剧发展的原因，气

候因素的激发作用并不大,其作用持续、稳定,是人类活动使荒漠化潜在发生区变为现实发生区。

### 参 考 文 献

- 1 朱俊凤、朱震达主编,联合国关于在发生严重干旱和/或沙漠化的国家特别是在非洲防治沙漠化公约,中国沙漠化防治,北京:中国林业出版社,1999,480~495.
- 2 Dregne, H. E., Land degradation in the drylands, *Arid Land Research and Management*, 2002, **16**, 99~132.
- 3 Nicholson, S. E., C. J. Tucker, and M. B. Ba, Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the west African Sahel, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1998, **79** (5), 815~829.
- 4 白美兰、沈建国、裴浩等,气候变化对沙漠化影响的评估,气候与环境研究,2002, **7** (4), 457~464.
- 5 慈龙骏、卢琦、杨有林,荒漠化与气候变化的相互作用,世界林业研究,1997, **1**, 8~14.
- 6 赵哈林、张铜会、崔建垣等,近40a我国北方农牧交错区气候变化及其与土地沙漠化的关系——以科尔沁沙地为例,中国沙漠,2000, **20** (增刊), 1~6.
- 7 王顺德、王彦国、王进,塔里木河流域近40a来气候、水文变化及其影响,冰川冻土,2003, **25** (3), 325~320.
- 8 韩路、王海珍、曹新川,塔里木灌区近40年来气候变化特征,气象,2002, **28** (4), 53~56.
- 9 李香云,塔里木河干流下游土地荒漠化与流域水资源优化配置研究,中国科学院地理科学与资源研究所博士学位论文,2002.
- 10 于淑秋、林学椿、徐祥德,我国西北地区近50年降水和温度的变化,气候与环境研究,2003, **8** (1), 9~19.

## A Study of the Spatial-Temporal Changes of Precipitation and Temperature in Desertification Area in the Northwestern China ——An Example of the Tarim River Basin

Li Xiangyun<sup>1)</sup>, Wang Lixin<sup>2)</sup>, and Zhang Yushu<sup>2)</sup>

1) (School of Public Policy & Management, Tsinghua University, Beijing, 100084)

2) (Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy Sciences, Beijing 100101)

**Abstract** The climate condition and variability in desertification area are studied based on the data of annual precipitation and summer half-year temperature (May—October) in 26 meteorological stations (25 for temperature) which are selected according to the traits of human activities and the framework of water system in the Tarim River basin. The coefficient of variance ( $C_v$ ) is used in studying the difference/variability of climate factor. The average precipitation is 77 mm and  $C_v$  is 0.50 in 1961—2000. This shows that the interannual change of precipitation is smaller and stable. The annual precipitation processes indicates the increasing widely tendency in the Tarim River basin in the past 40 years. The average temperature is 20°C and  $C_v$  is 0.03 in summer half year in 1961—2000. It shows that the interannual change of temperature is very small and stable. But the increasing and descending tendency of the temperature for all stations are not identical and their amplitudes are very small. The Yarkant River is de-

scending, and others are increasing. The change trends of the precipitation and temperature show that the characteristic of climate change is wet type. Generally, this change can produce the positive influence on the eco-environment. Spatial  $C_v$  of precipitation is large, average is 2.29. spatial  $C_v$  of temperature is small, average is 0.21. These two spatial  $C_v$ s are descending trends. All these state that the provoking effect of climate factor is weak in rapidly desertification evolution in the Tarim River basin in the past 40 years. But climate factor is an important background condition of desertification, and its function is persistent and stable.

**Key words:** Tarim River basin; climate change; desertification; eco-environment; spatial-temporal variability