

近 50 年新疆地区风蚀气候侵蚀力时空变化特征分析

王雅琴^{1,2}, 范文波^{1,2}, 许忠宇³, 董倩倩^{1,2}, 魏建涛^{1,2}, 李长晓^{1,2}

(1.石河子大学 水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000; 2.石河子大学 现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000; 3.石河子大学 理学院, 新疆 石河子 832000)

摘 要:为了评价新疆地区潜在风蚀能力及沙漠化演化特征,利用新疆地区 41 个地面气象站点的观测资料,计算了 1969—2019 年新疆地区的风蚀气候侵蚀力。采用气候倾向率、Mann-Kendall(M-K)检验、地统计学分析等方法,探讨了该地区风蚀气候侵蚀力的时空变化特征及突变性。结果表明:(1)近 50 a 新疆全区风蚀气候侵蚀力呈显著的波动式下降趋势($p<0.01$),年递减速率为 1.14,不同区域 C 值变化特征不同,北疆和南疆地区的 C 值均在 2012 年左右出现回升趋势。(2) C 值具有明显的季节性,春季最高,夏季次之,冬季最低,最小值出现在 1 月,5 月达到最大值。(3)全区风蚀气候因子指数总体呈现从东向西递减,从南向北递增的空间格局,随着时间推移,全区风蚀等级均有所下降,极重侵蚀区范围不断缩小,仅分布在阿拉山口和准东地区与吐哈盆地交界处。(4)新疆地区的 C 值在 1993 年开始突变,同年进入显著下降趋势;南疆和北疆地区的 C 值分别在 1975 年和 1998 年开始突变,且分别在 1976 年和 2006 年进入显著下降趋势;东疆地区的 C 值在 1979 年以后显著下降,无突变。总体来看,全疆风蚀范围较广,以微度或轻度侵蚀为主,极重度风蚀区的风速明显高于其他地区,说明风蚀气候侵蚀力的大小与风速有明显的关系。

关键词:新疆; 风蚀气候因子; 时空变化

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)04-0022-07

Spatiotemporal Variation Characteristics of Erosivity of Wind Erosion Climate in Xinjiang in Recent 50 Years

WANG Yaqin^{1,2}, FAN Wenbo^{1,2}, XU Zhongyu³, DONG Qianqian^{1,2}, WEI Jiantao^{1,2}, LI Changxiao^{1,2}

(1.College of Water & Architecture Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

2.Key Laboratory of Modern Water-saving Irrigation of Xinjiang Production & Construction Group, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 3.College of Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: In order to evaluate the potential wind erosion capacity and the evolutionary characteristics of desertification in Xinjiang, we calculated the wind erosion climatic erosion force in Xinjiang from 1969 to 2019 using observations from 41 ground-based meteorological stations in the Xinjiang. The spatial-temporal characteristics of erosivity of wind erosion climate in Xinjiang were discussed by means of climate tendency rate, Mann Kendall (M-K) test and geostatistical analysis. The results show that: (1) in recent 50 years, the erosivity of wind erosion climate in Xinjiang showed a significant fluctuating downward trend ($p<0.01$), the decreasing rate was 1.14 per year, and the C values in different regions were different; the C values in northern and southern Xinjiang showed a rising trend around 2012; (2) C value had obvious seasonal characteristics, the highest value showed in spring, the higher value in summer, the lowest value in winter, the minimum value appeared in January and reached the maximum value in May; (3) the wind erosion climate factor index in the whole region showed a spatial pattern of decreasing from east to west and increasing from south to north; with the passage of time, the grade of wind erosion in the whole region had decreased, and the scope of extremely heavy erosion area shrinked, only distributed in Alashankou, junction between Zhundong area and Turpan-Hami basin; (4) the climatic factors of wind erosion in Xinjiang began to change in 1993, and entered a significant downward trend in the same year; they began to mutate in southern and northern Xinjiang in 1975 and 1998, respectively, and entered a significant downward trend in 1976 and 2006, respec-

收稿日期:2020-08-07

修回日期:2020-09-02

资助项目:国家自然科学基金(51569028);中国工程院咨询研究项目(2018-XY-36-2)

第一作者:王雅琴(1997—),女,甘肃金昌人,硕士研究生,研究方向为区域土壤风蚀研究。E-mail:1565266581@qq.com

通信作者:范文波(1975—),男,宁夏吴忠人,教授,博士,主要从事农田水利工程与水土保持研究。E-mail:fwb205@163.com

tively, and decreased significantly in eastern Xinjiang after 1979 without mutation. In general, wind erosion widespread throughout the territory and was dominated by slight or mild erosion. The wind speed in the area of very heavy wind erosion was significantly higher than that in other areas, indicating that there was an obvious relationship between the magnitude of wind erosion climate erosion force and wind speed.

Keywords: Xinjiang Uygur Autonomous Region; climatic factors of wind erosion; spatiotemporal variation

土壤风蚀引起旱地土地退化及土壤流失^[1],并受到自然条件及人类活动等多重复杂因素的影响,其中干旱多风的气候条件是致使我国西北干旱区发生土壤风蚀的重要因素^[2]。目前,在国际上广泛采用联合国粮农组织(FAO)修订的风蚀气候因子指数(C 值)来度量气候因子对土壤风蚀影响程度的大小^[3],C 值可以作为一个最优选择来衡量产生有利于风蚀条件的气候趋势^[4],是土地沙漠化及农田风蚀的有效评判指标。因此,风蚀气候侵蚀力对研究干旱半干旱区土壤风蚀过程、沙漠化防治及风蚀地貌的演化具有一定的指示意义^[5]。

继 Chepil 等^[6]提出风蚀气候因子的概念后,国外学者对此进行了大量研究,我国学者对风蚀气候侵蚀力在不同尺度上的分布也有报道。董玉祥等^[7]对我国干旱半干旱地区风蚀气候侵蚀力的研究显示,我国干旱地区年风蚀气候侵蚀力介于 10~100。此后学者们应用风蚀气候侵蚀力计算模型分别对福建省、青海省、吉林省、内蒙古阴山北麓、甘肃省雅丹地貌区及塔里木盆地等地区的风蚀气候侵蚀力进行了不同时间尺度的计算与分析^[8-14],研究了该部分地区风蚀气候侵蚀力的潜力、时空演化规律、突变特征、周期性及其与气候要素的相关性,但是对新疆全区风蚀气候侵蚀力的系统研究还鲜有报道。

新疆地区是我国风蚀地貌的主要分布区,而风蚀区是荒漠化治理、水土保持调查和规划的基本单元。因此,本文拟以 C 因子为指标,计算与分析新疆地区的风蚀气候因子指数,以揭示近 50 a 来新疆地区风蚀气候侵蚀力的时空演化特征,研究结果以期为更好地认识新疆地区土壤风蚀潜力,并为新疆地区环境保护及沙漠化评价提供一个重要指标值。

1 研究区概况

新疆地处东经 73°40′—96°18′,北纬 34°25′—48°10′,南北有高山阻隔,天山山脉横亘其间,以天山为界,可以将全区划分为 3 大区域,天山以南为南疆,天山以北为北疆,哈密和吐鲁番一带划分为东疆。全疆境内分布有 9 大风区,部分地区如南疆和田、罗布泊、东疆哈密、吐鲁番及北疆克拉玛依等是我国主要风蚀地貌区。全国土壤侵蚀普查结果显示,新疆风蚀面积占总侵蚀面积的 90%左右,主要以轻度和中度侵蚀

为主,风蚀范围较广,塔里木盆地、准噶尔盆地及东疆地区为主要风蚀区,其中沙漠边缘区与大风口地带极易发生剧烈风蚀^[15]。新疆地区区域划分及站点分布图见图 1。

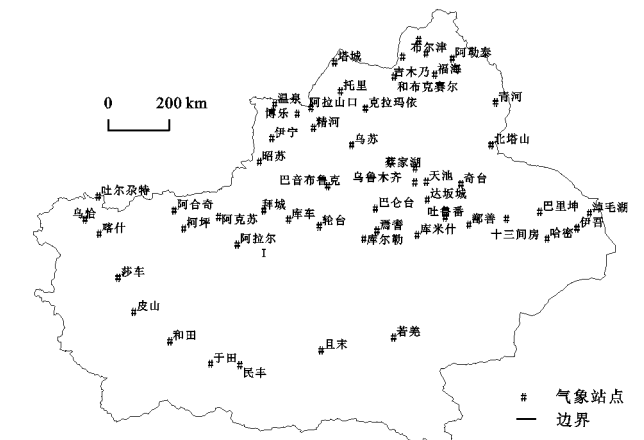


图 1 新疆维吾尔自治区区域划分及气象站点分布

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

2.1.1 数据来源 本研究气象资料为 1969—2019 年新疆维吾尔自治区 41 个气象站点地面气候资料逐日/月数据集,将全区划分为 3 个研究区域,分别为东疆地区(主要包括 6 个气象站点)、北疆地区(主要包括 17 个气象站点)和南疆地区(主要包括 18 个气象站点),选取了平均气温(℃)、降水量(mm)、蒸发量(mm)、平均风速(m/s)、平均相对湿度(%)等气象指标计算全区风蚀气候侵蚀力,数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

2.1.2 数据处理 原始数据中的单位处理为计算统一单位;剔除数据严重缺失台站,初始数据中存在特征值 999999,999998 称为缺失值,对于缺失值处理按照临近点平均值插补法和临近时间点数据替补的方法补全。

2.2 研究方法

2.2.1 风蚀气候因子指数计算方法 本文利用联合国粮农组织(FAO)订正的计算公式^[16]计算 C 值,该公式计算方便又具有较高的准确性,见公式(1):

$$C = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{12} u_i^3 \left(\frac{ETP_i - p_i}{ETP_i} \right) d \quad (1)$$

$$ETP_i = 0.19 (20 + T_i)^2 (1 - r_i) \quad (2)$$

$$u_2 = u_1 (z_2 / z_1)^{1/7} \quad (3)$$

式中: C 为风蚀气候因子指数, 其大小代表风蚀气候侵蚀力的大小; p_i 为月降水量 (mm); d 为月天数 (d); \bar{u} 为 2 m 高处的月均风速 (m/s); ETP_i 为月潜在蒸发量 (mm), 见公式 (2); T_i 为月平均气温 (°C); r_i 为月平均相对湿度 (%). 采用幂值指数法将原 10 m 高度的风速数据修正到 2 m 高度处, 见公式 (3), u_1 和 u_2 为高度 z_1 和 z_2 处的风速, 风速切变指数为 1/7.

2.2.2 分析方法 采用气候倾向率方法^[17] 分析风蚀气候侵蚀力的年际变化趋势, 用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量, 用 t_i 表示 x_i 所对应的时间, 建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归:

$$x_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中: a 和 b 分别为回归系数和回归常数, 均由最小二乘法计算得到; b 的大小表示随时间 t 的增加 x 上升或下降的倾向程度; $b \times 10$ 称为气候倾向率, 本文中每 10 a C 值的倾向程度。

采用 ArcGIS 的地统计学方法分析新疆地区 1979 年、1989 年、1999 年、2009 年、2019 年风蚀气候侵蚀力的空间分布特征及每 10 a 风蚀气候倾向率的变化趋势。采用 Mann-Kendall (M-K) 突变检验^[18] 的方法对近 50 a 来新疆地区风蚀气候侵蚀力进行突变分析, 运用 Matlab 程序实现。

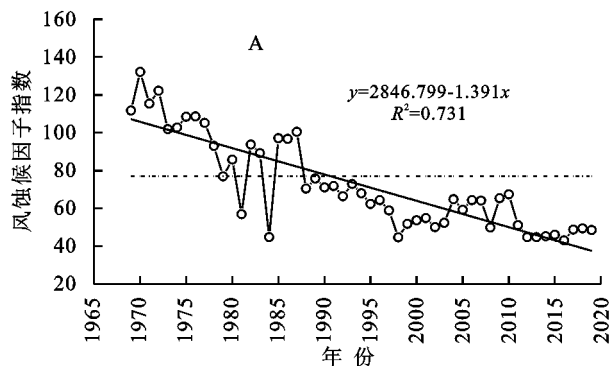


图 2 1969—2019 年东疆地区风蚀气候侵蚀因子年际和年代际变化趋势

图 3 为 1969—2019 年北疆地区 17 个气象站点风蚀气候侵蚀因子指数的年际变化特征及年代际变化趋势。从图 3 可以看出, 北疆地区以每年 1.49 的速率波动下降 ($p < 0.05$), 最大值为 106.95 (1983 年), 2010 年出现最小值为 -47.02, C 值多年平均值为 29.85, 2005 年以后逐年下降至平均值以下。北疆地区 C 值的变化过程总体呈现 3 个阶段, 第一阶段 1969—1975 年平稳上升, 第二阶段 1975—2012 年呈现快速下降趋势 ($p < 0.05$), 第三阶段 2012 年以后呈现显著上升趋势 ($p < 0.05$)。

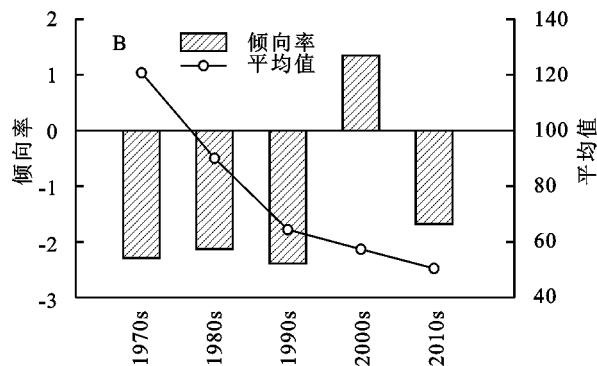
数据计算得, 1970s 和 2010s 两个年代风蚀 10 a 气候倾向率分别为 43.091, 58.487, 均大于 0, 其中 2010s 的

3 结果与分析

3.1 1969—2019 年风蚀气候侵蚀力的时间变化特征

3.1.1 年际变化特征 C 值是风蚀受各气象因子影响的综合反映, 其年际变化特征也反映气象因子的波动特征, 年均 C 值的大小也反映该区风蚀气候侵蚀力的潜力。图 2 为 1969—2019 年东疆地区 6 个气象站点平均风蚀气候因子指数的年变化特征及年代际变化趋势。

从总体看, 近 50 a 东疆地区的 C 值呈现波动式下降趋势 ($p < 0.01$), 年递减速率为 1.39, 最大值出现在 1972 年为 150.67, 2016 年达到最小值为 43.16, 1969—2019 年 C 值的平均值为 76.92, 1969—1978 年 C 均值均大于 100, 超过了风蚀气候侵蚀力“极重”(风蚀气候因子指数 ≥ 100) 的分级标准^[16], 说明在 1978 年以前东疆地区风蚀强度较大。1988 年以后逐年下降至平均值以下。不同时段 C 值的倾向程度不同, 1970s, 1980s, 1990s 及 2010s 这 4 个年代的 10 a 倾向率均为负值, 分别为 -21.344, -12.988, -26.138, -10.058, 其中 1970s, 1990s 和 2010s 的 C 值倾向率通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验, 说明这 3 个时段 C 值下降趋势显著。2000s 的倾向率为非负值, 且未能通过显著性检验, 说明该时段内 C 值上升趋势不显著。



倾向率通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 说明 2010s 的 C 值呈现显著上升趋势; 1980s, 1990s, 2000s 的 10 年倾向率分别为 -9.361, -9.021, -11.175 均小于 0, 其中 2000s 的倾向率通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验, 说明 2000s 的 C 值呈下降趋势显著。

由图 4B 可知, 1969—2019 年南疆地区风蚀气候侵蚀力的倾向率呈增大趋势, 说明近 50 a 来南疆地区风蚀气候侵蚀力大小虽然总体呈下降趋势, 但是风蚀气候侵蚀力上升潜力在逐渐增大。1970s, 1980s, 2000s 这 3 个年代的 10 a 倾向率分别为 -9.30, -6.12, -0.44 均小于 0, 其中 1970s 的倾向率通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验, 说明在 1970s 的 C 值下降趋势最

为显著。1990s 和 2010s 的 10 a 倾向率均为正值分别为 2.489,6.872,仅 2010s 的 C 值倾向率通过了显

著性检验($\alpha=0.01$),说明 2010s 的风蚀气候侵蚀力上升倾向显著。

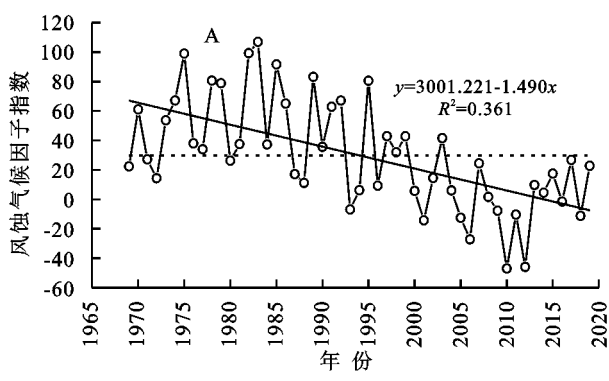


图 3 1969—2019 年北疆地区风蚀气候侵蚀因子年际和年代际变化趋势

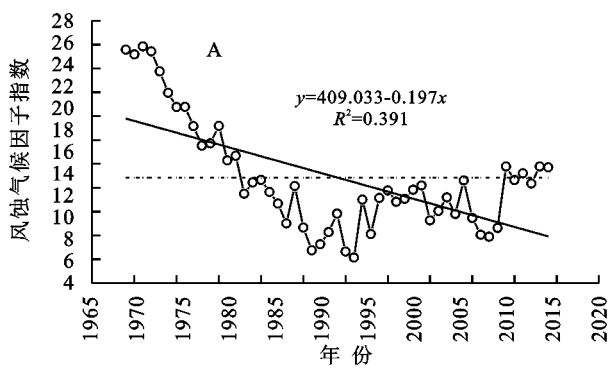


图 4 1969—2019 年南疆地区风蚀气候侵蚀因子年际和年代际变化趋势

从图 5A 可以看出全疆 C 值整体呈现波动下降趋势($p<0.01$),递减速率为每年 1.14,最大值为 78.79(1975 年),最小值为 2.95(2012 年),全疆 C 值多年平均值为 40.54,1985 年以前 C 值大于平均值,1985—1995 年在平均值范围内波动,1995 年之后逐年下降至平均值以下。从图 5B 可以看出,1970s

和 2010s 的倾向率大于 0,2010s 的 10 a 倾向率为 20.72,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,说明该时段 C 值上升倾向显著。1980s,1990s,2000s 这 3 个时段的 10 a 倾向率分别为 -9.51, -10.89, -0.42 均小于 0,均未通过显著性检验,说明该时段风蚀气候侵蚀力有下降倾向但是并不显著。

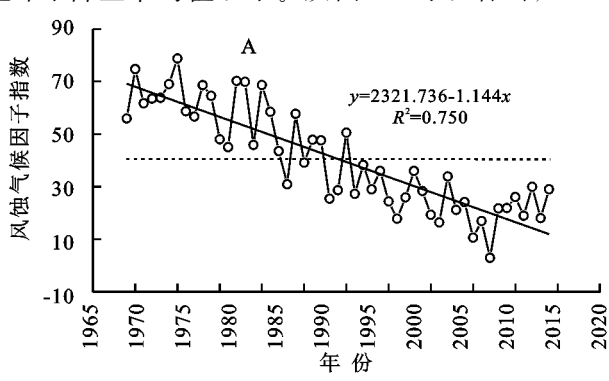
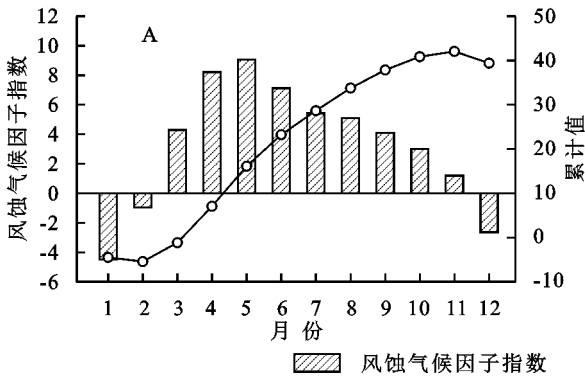


图 5 1969—2019 年新疆全区风蚀气候侵蚀因子年际和年代际变化趋势

对比图 2—5 发现,新疆全区及东疆、北疆、南疆 3 个分区的风蚀气候侵蚀力总体呈现波动下降的趋势,但北疆和南疆地区在 2012 年以后 C 值均有显著的回升趋势($p<0.01$)其中南疆地区年均风蚀气候侵蚀力早在 1996 年左右已有上升的趋势。全疆多年平均 C 值和其递减速率从小到大排序为南疆<北疆<东疆,究其原因,主要与新疆地区大风口带的分布有很大关系,由于新疆境内有九大风区,其中东疆区内

就分布有 4 个大风区,包括哈密北戈壁风区、哈密南戈壁风区、百里风区及吐鲁番西部风区,常年平均风速偏大,导致东疆地区哈密站、红柳河站及吐鲁番站点的 C 值远高于其他站点,从而致使东疆地区平均 C 值高于疆内其他地区。北疆地区的阿拉山口站和达坂城站同样处在风区, C 值也远高于其他站点。
3.1.2 年内分配特征 新疆全区 C 值的月际及季节变化特征见图 6。由图 6A 可知。新疆地区风蚀气

候侵蚀力具有明显的季节特征,从季节变化特征来看, C 值在季节上的变化表现为春季>夏季>秋季>冬季。 C 值的月变化特征显示为:1—5 月 C 值随着月份的增大而逐渐上升,其中 4 月和 5 月急剧增长,5 月达到最大值为 9.068;6 月开始下降,1 月达到最小值为-4.481。



究其原因,由于新疆地区风蚀气候侵蚀力的季节变化特征与地区特殊的气候特征有密切的关系。新疆地区冬季气温偏低,积雪较厚,地表受积雪的保护而降低了风蚀的发生,春季和夏季的平均风速偏高,且由于气温回暖,春夏季节的空气相对湿度偏低,降雨较少,易发生土壤风蚀。

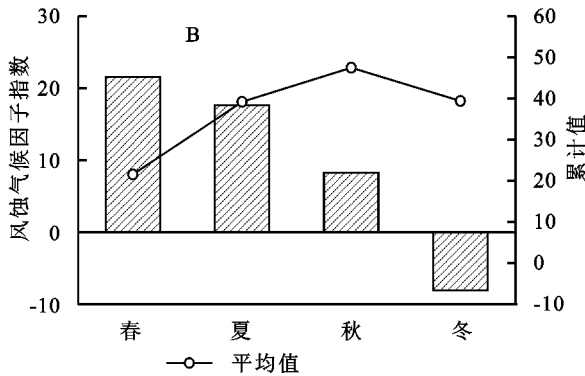


图 6 新疆地区风蚀气候因子指数月际和季节变化特征

3.2 1969—2019 年风蚀气候侵蚀力的空间分布特征

图 7 给出了新疆地区 1969—2019 年 41 个气象站点风蚀气候因子(A,C,E,G,I)及气候倾向率(B,D,F,H,J)的空间变化特征,新疆各区的风蚀情况见表 1。从风蚀气候因子整体的分布状况可以看出,风蚀气候因子的空间分布规律与该区域风蚀地貌的分布有极大的关联性,也与风速的分布规律密不可分。根据统计计算得,1969—2019 年 41 个气象站点的 C 值的变化范围为-200~355,从年均 C 值的空间变化图中可以看出,风蚀气候侵蚀力出现明显的 3 个高值区,一是以阿拉山口和克拉玛依站为中心的博州地区及塔城南部地区,二是以达坂城和奇台站为中

心的准东地区与吐哈盆地交界处,三是以淖毛湖和红柳河站为中心的东疆东部地区,其中最大值出现在阿拉山口,超过风蚀气候侵蚀“极重”的分级标准,属于极重侵蚀区,另外,全区有 4 个站点 C 值 ≥ 100 属于极重侵蚀区,占总气象站点的 10%。 C 值的 10 a 平均倾向率变化范围为-6.172~7.631,其中有 16 个气象站点的平均倾向率为非负值,占总站点数的 39%,从倾向率的空间分布图中可以看出,风蚀气候倾向率的高值区主要分布在新疆的东北部和南疆西南角地区,这与韩柳等^[19]的研究结果一致,其中以阿勒泰地区的倾向率最高,说明该区风蚀气候侵蚀力的增长趋势明显。

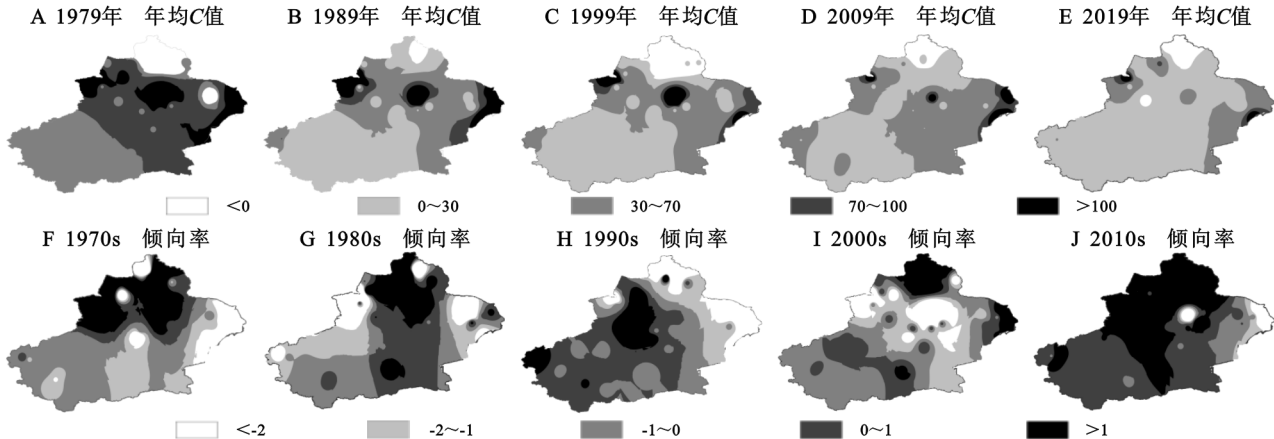


图 7 1969—2019 年新疆地区风蚀气候因子指数及风蚀气候倾向率空间分布

对比图 7A,C,E,G,I 可以看出,新疆地区 C 值总体呈现从东向西递减,从南向北递增的空间格局,1999 年之前全疆 C 值的南北分布大致以天山为界,北疆除阿勒泰地区之外区域的风蚀气候因子均值大于 30,风蚀等级较高,而南疆地区的风蚀气候因子均

值在 30 以内,风蚀等级较低。自 2000 年以后全疆 C 值明显降低且不存在明显的区域界线,全区风蚀等级均有所下降,其中 C 值 ≥ 100 的极重侵蚀地区范围明显缩小,仅分布在准东地区与吐哈盆地的交界处及阿拉山口,与 Yang^[3]、李达净^[20]等的研究结果一致。

表 1 新疆地区风蚀气候因子指数的分布情况

C 值	类型	地区	区域气候特点
<0	微度风蚀	哈巴河、布尔津、福海、阿勒泰、青河、八音布鲁克、巴里坤	该区域月平均降水量为 16 mm,月平均风速为 2.96 m/s,月平均湿度为 69%,最冷月平均气温-18℃,最热月平均气温 20℃
0~30	轻度风蚀	富蕴、托里、裕民、沙湾、吐鲁番地区、阿克苏地区、喀什地区、巴州地区、和田地区、阿拉尔、精河	该区域月平均降水量为 7.6 mm,月平均风速为 1.83 m/s,月平均湿度为 49%,最冷月平均气温-9℃,最热月平均气温 25℃
30~70	中度风蚀	乌恰、和布克赛尔、克拉玛依	该区月平均降水量为 12 mm,月平均风速为 2.68 m/s,月平均湿度为 49%,最冷月平均气温-12℃,最热月平均气温 22℃
70~100	重度风蚀	伊吾	该区月平均降水量 8.6 mm,月平均风速为 3.4 m/s,月平均湿度为 43%,最冷月平均气温-12℃,最热月平均气温 18℃
≥100	极重风蚀	阿拉山口、准东地区与吐哈盆地交界处	该区月平均降水量 5.6 mm,月平均风速为 9.6 m/s,月平均湿度为 43%,最冷月平均气温-12℃,最热月平均气温 25℃

由表 1 可知,全疆风蚀范围较广,类型集中,主要以微度及轻度侵蚀为主,从各类风蚀区的区域气候特点可以看出,极重度风蚀区的风速远远高于其他地区,相对湿度、温差、降水量和气温等值也低于其他区域,但差异较风速差异小,说明风蚀气候侵蚀力的大小与风速大小有密切的关系,这与前人的研究结果一致^[9-14]。

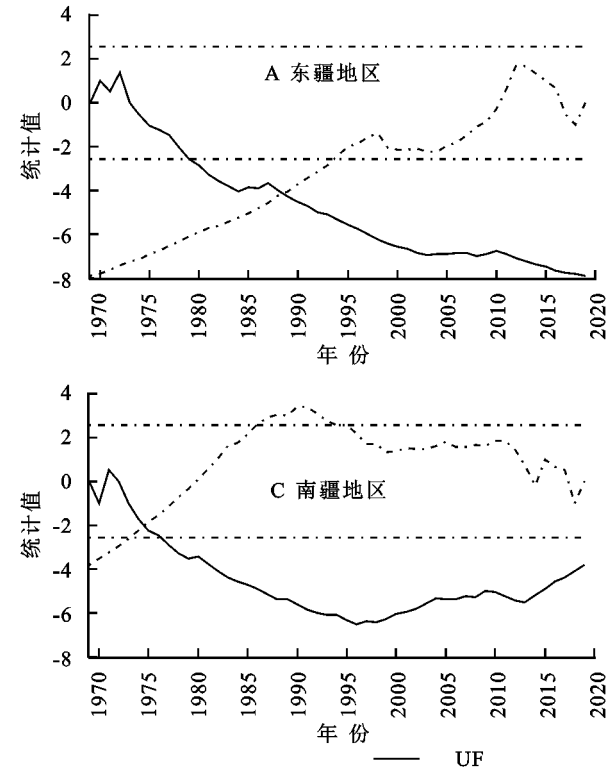
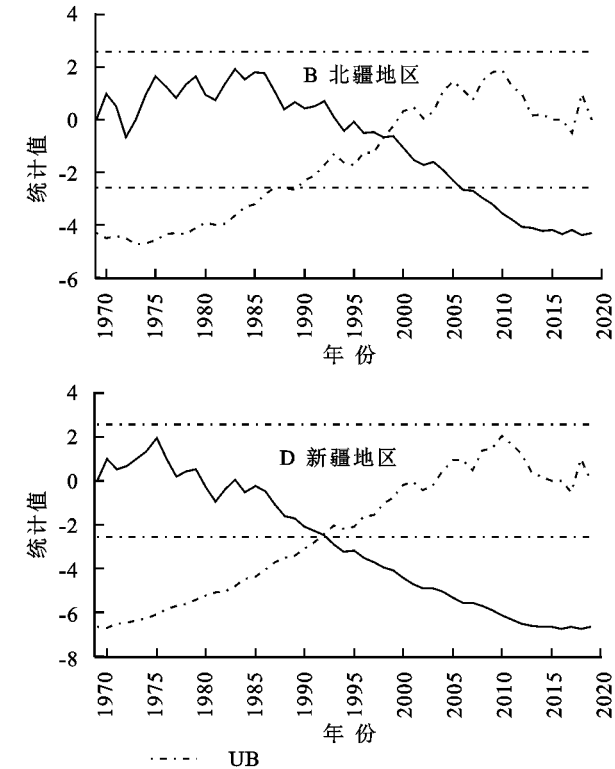


图 8 新疆维吾尔自治区和 3 个大区风蚀气候因子指数的突变特征

由图 8 可以看出,新疆地区风蚀气候因子指数的 UF 和 UB 曲线在 1993 年出现交点,且交点在 $\alpha=0.01$ 的信度曲线之内,说明新疆地区风蚀气候侵蚀力在 1993 年开始突变,同年下降趋势超过显著性水平 0.01 的临界线,说明新疆地区 C 值自 1993 年开始显著降低。北疆和南疆地区风蚀气候侵蚀力分别在 1998 年和 1975 年发生突变,分别在 2006 年和 1976 年进入显著下降趋势;东疆地区风蚀气候侵蚀力在 1979 年以后显著下降,无突变。

3.3 风蚀气候侵蚀力的突变性

大量事实表明气候不是缓慢变化的,而是从一种稳定状态跳跃式地转变到另一种稳定状态,称为气候突变现象^[21],M-K 检验法是世界气象组织推荐的用于提取序列变化趋势的有效工具^[22]。图 8 为 1969—2019 年新疆全区风蚀气候因子指数的 M-K 突变检验结果。



从气候变化的角度看,近 50 a 来新疆地区气候变化状况与该区风蚀气候侵蚀力的突变息息相关。新疆地区的气候在向暖湿方向发展,自 1998 年起进入显著暖湿化的发展趋势^[23],其中,北疆和东疆地区的 C 值突变时间与气候突变具有同步性,而南疆地区 C 值发生突变的时间则早于气候温暖化的突变时间点,说明北疆和东疆地区风蚀气候侵蚀力对气候变化的敏感性大于南疆地区,此外根据资料显示,20 世纪末期,南疆地区的沙漠化正在以年均增加 0.93% 的

速度侵蚀塔克拉玛干沙漠南缘,从且末至若羌、和田普遍出现了沙漠南移,绿洲后退的情景^[24],而南疆地区风蚀气候侵蚀力在 1997 年左右出现上升趋势,由此说明对于南疆地区,土壤风蚀作用已经不再是由气候因素所主导而发生。

4 结论

近 50 a 来新疆地区风蚀气候侵蚀力呈显著的波动式下降趋势,年递减速率为 1.14。不同区域 C 值变化特征不同,东疆地区为全区风蚀气候侵蚀力等级最大且递减速率最快的区域,此外南疆和北疆地区风蚀气候侵蚀力分别在 1996 年及 2012 年左右出现明显的回升趋势。风蚀气候侵蚀力的年内分配具有明显的季节性,春季最高,冬季最低,最小值出现在 1 月,随之逐渐升高,5 月达到最大值。新疆地区风蚀气候侵蚀力呈现从东向西递减,从南向北递增的空间格局,全区以微轻度侵蚀为主,2000 年以后全疆 C 值等级均有所下降,其中 C 值 ≥ 100 的极重侵蚀地区范围明显缩小,仅分布在准东地区与吐哈盆地的交界处及阿拉山口。阿勒泰地区风蚀气候侵蚀力最小,但是该区风蚀气候侵蚀力的增长趋势最明显。

突变分析显示:新疆地区风蚀气候因子在 1993 年开始突变同年进入显著下降趋势。北疆和南疆地区分别于 1988 年和 1975 年发生突变,分别在 2006 年和 1976 年进入显著下降趋势;东疆地区风蚀气候侵蚀力在 1979 年以后显著下降,无突变。北疆和东疆地区风蚀气候侵蚀力对气候变化的敏感性大于南疆地区,对于南疆地区,气候因素对风蚀作用发生的主导作用在减弱。

参考文献:

- [1] Sharratt B S, Tatarko J, Abatzoglou J T, et al. Implications of climate change on wind erosion of agricultural lands in the Columbia plateau[J]. *Weather and Climate Extremes*, 2015, 10: 20-31.
- [2] Lou J P, Wang X M, Cai D W. Spatial and temporal variation of wind erosion climatic erosivity and its response to ENSO in the Otindag Desert, China[J]. *Atmosphere*, 2019, 10(10): 614-628.
- [3] Yang F B, Lu C H. Assessing changes in wind erosion climatic erosivity in China's dryland region during 1961—2012 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(9): 1263-1276.
- [4] Ge Q S, Wang H J, Dai J H. Shifts in spring phenophases, frost events and frost risk for woody plants in temperate China[J]. *Climate Research*, 2013, 57(3): 249-258.
- [5] Yue S P, Yang R X, Yan Y C, et al. Spatial and temporal variations of wind erosion climatic erosivity in the farming-pastoral zone of Northern China[J]. *Springer Vienna*, 2019, 135(3): 1339-1348.
- [6] Chepil W S, Siddoway F H, Armbrust D V. Climatic factor for estimating wind erodibility fields [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1962, 17(4): 162-165.
- [7] 董玉祥,康国定.中国干旱半干旱地区风蚀气候侵蚀力的计算与分析[J].*水土保持学报*, 1994, 8(3): 1-7.
- [8] 方祖光,谢皎如.福建沿海地区干燥度和风蚀气候侵蚀力的计算与分析[J].*福建师范大学学报:自然科学版*, 1997, 13(3): 96-103.
- [9] 吴成永,陈克龙,曹广超,等.近 30 年来青海省风蚀气候侵蚀力时空差异及驱动力分析[J].*地理研究*, 2018, 37(4): 717-730.
- [10] 祁栋林,韩廷芳,赵全宁,等.青海省冬春季风蚀气候侵蚀力和起沙风日数的区域变化差异特征[J].*水土保持研究*, 2019, 26(2): 23-30, 36.
- [11] 任景全,郭春明,李建平,等.气候变化背景下吉林省风蚀气候侵蚀力时空特征[J].*水土保持研究*, 2017, 24(6): 233-237.
- [12] 邹春霞,申向东,李夏子,等.内蒙古阴山北麓农牧交错带风蚀气候侵蚀力特征[J].*吉林大学学报:地球科学版*, 2011, 41(4): 1172-1178.
- [13] 牛清河,屈建军,安志山.甘肃敦煌雅丹地质公园区风蚀气候侵蚀力特征[J].*中国沙漠*, 2017, 37(6): 1066-1070.
- [14] 杨兴华,何清,李红军,等.塔里木盆地风蚀气候侵蚀力的计算与分析[J].*中国沙漠*, 2012, 32(4): 990-995.
- [15] 王勇,沙依然.新疆荒漠化动态变化分析[J].*新疆农垦科技*, 2019, 42(8): 37-39.
- [16] FAO. A Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment[M]. Rome: FAO, 1979.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 韩柳,王静璞,王光镇,等.中国北方风蚀区风速变化时空特征分析[J].*干旱区地理*, 2018, 41(5): 963-971.
- [20] 李达净,许端阳,丁雪,等.1981—2010 年中国北方风蚀气候侵蚀力演变与植被动态响应[J].*水土保持研究*, 2018, 25(2): 15-20.
- [21] 郭鹏程,包安明,陈曦,等.1960—2006 年艾比湖流域冷暖季气候状况分析[J].*自然资源学报*, 2012, 27(1): 132-142.
- [22] 李珍,姜逢清.1961—2004 年新疆气候突变分析[J].*冰川冻土*, 2007, 29(3): 351-359.
- [23] 魏文寿,高卫东,史玉光,等.新疆地区气候与环境变化对沙尘暴的影响研究[J].*干旱区地理*, 2004, 27(2): 137-141.
- [24] 汉瑞英,赵志平,肖能文,等.2000—2015 年新疆南部地区土地利用/覆被变化及其驱动力分析[J].*科技通报*, 2020, 36(2): 24-31.