

文章编号:1672-3317(2012)04-0032-05

近52年渭河流域气候变化及极端干湿事件演变特征分析

蒋冲¹, 王飞^{1,2}, 穆兴民^{1,2}, 李锐^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院/水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用渭河流域及其周边区域23个站点1959—2010年的逐日气象数据,通过Penman-Monteith公式计算潜在蒸散量(ET_0)和湿润指数。采用气候倾向率、标准化指数、相关分析等方法就该地区气候变化和极端干湿事件的变化特征及其影响因素进行了分析。结果表明,①渭河流域气温分布呈东南向西北递减格局,近52年呈升温趋势($0.2\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$, $P < 0.001$),升温较快的区域位于子午岭林区、陇东和丘陵沟壑区一带。降水分布东南高西北少,52年来呈减少趋势($-2.2\text{ mm}/10\text{a}$, $P > 0.1$),减幅较大的区域位于关中和陇东一带。②湿润指数整体呈下降趋势,由南向北干旱化加剧,黄土高原丘陵沟壑区最干,秦岭和关中地区最湿。③极端干旱事件频率在波动中增加,频率5次及以上的年份占48%,极大值出现在20世纪90年代中期;极端湿润事件频率在波动中减少,20世纪60年代至今气候干湿演替规律依次为湿—干—湿—干—干。

关键词: 渭河流域; 气候变化; 湿润指数; 极端干湿事件; 时空特征

中图分类号: P333

文献标志码: A

蒋冲,王飞,穆兴民,等. 近52年渭河流域气候变化及极端干湿事件演变特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4): 32-36.

地表气候的干湿变化取决于降水和蒸发的变化速率,仅用降水这一单一指标并不能客观表示气候的干湿状况,综合考虑水分收支平衡的湿润指数更能准确说明地表的实际干湿状况^[1]。近年来,有关地表干湿状况的研究已成为学术界关注的焦点之一^[2]。相关研究^[3-5]对中国及中国北方地区气候干湿带界限以及干旱化趋势进行了深入分析,得出不同区域气候干湿带界限的变动规律和干旱化演变特点。到目前为止,把流域作为对象的研究主要局限于对降水、气温、径流、蒸发等单一气象水文要素的分析,综合考虑多种气象要素,探讨干湿变化、极端干湿事件演变规律的相关研究较少。大尺度的研究由于受站点空间分布的影响,对较小的流域单元缺乏具体的现实指导意义。渭河流域地处黄土高原半干旱半湿润地区,作为气候变化的敏感区和生态环境脆弱区,近60年来,气温、降水等要素均发生了变化。通过年代际、年际尺度的湿润指数研究该地区地表干湿变化特征及极端干湿事件演变规律,为流域水资源管理、农业种植格局调整、生态环境建设提供科学依据。

1 材料与方法

渭河位于东经 103.5° — 110.5° 和北纬 33.5° — 37.5° 之间,是黄河最大的一级支流,发源于甘肃境内渭源县的鸟鼠山,由北洛河、泾河2大支流和渭河干流组成。自西向东流经甘肃境内渭源、陇西、天水等地,于宝鸡凤阁岭进入陕西境内,经宝鸡、西安、华县等地,于潼关注入黄河,干流全长818 km,流域面积 $1.35 \times 10^5\text{ km}^2$ 。

* 收稿日期: 2012-04-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41171420); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10502-Z12-9); 中荷联合主题研究项目(GJHZ1018; OND1339291)

作者简介: 蒋冲(1987-),男,黑龙江哈尔滨人。硕士研究生。主要从事黄土高原气候变化与生态水文。E-mail: cba8702@126.com

通讯作者: 王飞(1971-),男,陕西户县人。副研究员,硕士生导师,博士,主要从事水土保持环境效应评价。E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn

渭河流域地处大陆性季风气候区,春季干燥,主要受西太平洋副热带高压控制,夏季炎热多雨,秋凉湿润,冬季受蒙古高压影响,气候寒冷干燥、降水稀少。流域地区地处黄土高原南缘,南部为秦岭山区,子午岭、六盘山、关山、黄龙山、桥山等林区、草地交错分布。降水分布呈东南向西北递减格局,南部秦岭山区降水充沛,年均降水量 800 mm 左右,关中地区约为 500 mm。气温方面,最冷月平均气温为 $-1\sim-3\text{ }^{\circ}\text{C}$,最热月平均气温为 $23\sim26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

选取渭河流域及其周边地区要素比较完备的 23 个气象站,剔除时间序列小于 35 年的站点。有极少数站点的观测中断,运用线性回归法插补了缺测的部分数据。采用世界粮农组织(FAO)1998 年修正的 Penman-Monteith 模型计算潜在蒸散量。湿润指数(H)的计算方法为降水与 ET_0 之比。极端干旱(湿润)事件定义为 H 的标准化变量 ≤ -0.5 (≥ 0.5)。月湿润指数标准化变量的计算公式为:

$$D_{H_{ij}} = \frac{H_{ij} - \bar{H}_i}{\sigma_i}$$

式中: $D_{H_{ij}}$ 为第 j 年第 i 月湿润指数的标准化变量; H_{ij} 为第 j 年第 i 月湿润指数; \bar{H}_i 为 i 月多年平均值; σ_i 为第 i 月湿润指数的标准差。在 Arc GIS 软件下通过 Spline 插值法绘制该地区各要素及其变化的空间分布图,对其空间差异进行分析,并采用 Pearson 相关分析法对影响湿润指数的因素进行分析。

2 结果与分析

2.1 年平均气温和降水量的时空变化

渭河流域多年平均气温为 $9.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,整体上呈现东南高、西北低的空间分布格局(图 1(a)),流域东南部关中盆地一带年均气温相对较高,西安、武功、宝鸡等地分别为 13.5 、 13.3 、 $13.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,地处关中盆地东南缘的华山站年均气温仅为 $6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,是该区气温最低的站,主要是因为其海拔较高的缘故,相对于周边地区气温明显偏低。流域西北部气温相对较低,吴旗—环县—西吉—华家岭—一线年均气温均低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,西吉站仅为 $5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,是整个流域气温最低的地区。近 50 年渭河流域整体升温趋势显著,气候倾向率达 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,变化趋势通过了 99% 的显著性检验(图 1(b))。流域内部的 12 个站点(铜川站缺测较为严重,不列入统计)均呈现出不同程度的升温趋势,且全部通过了 95% 的显著性检验,升温速度最快的为洛川和西峰,二者气候倾向率均为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,环县、吴旗和平凉也都达到了 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;升温最慢的为西安站($0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),武功和长武地区升温也比较慢,仅为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从空间分布特征来看(如图 2),全流域均呈现升温趋势,变化范围介于 $0.06\sim0.55\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,升温幅度较大的站点主要位于流域中部子午岭林区(洛川)、陇东(环县、西峰)和流域北部丘陵沟壑区(吴旗)一带,升温幅度较小的地区主要集中于关中盆地一带(西安、武功等地)。流域整体和 12 个站点气温的年代际变化趋势相对一致(见表 1),1961—1980 年气温为负距平,其中,1961—1970 年距平值最大,是近 50 年最冷的 10 年;1990—2010 年为正距平,2001—2010 年,除西安站外,距平值均大于或等于 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,西峰站更是高达 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,是最热的 10 年。

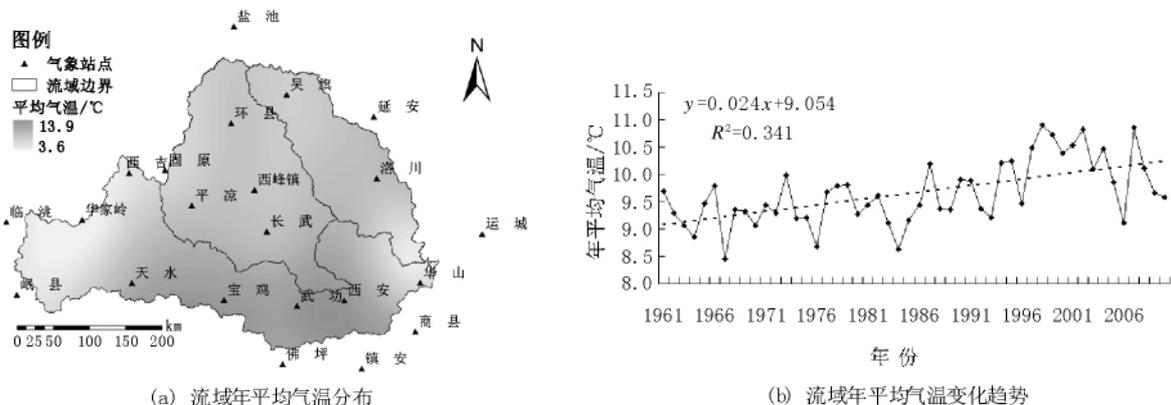


图 1 年平均气温空间分布及其变化

渭河流域多年平均降水量为 555.7 mm,整体上呈现由东南向西北方向递减的空间分布格局(如图 3),流域东南部秦岭南麓、关中盆地一带年降水相对较多,西安、武功、宝鸡等地分别为 550.1、596.2、657.8 mm,华山站多年平均降水量为 817.3 mm,是该区乃至整个流域降水最多的站,华山站属于高山站,山区降水相对于周边平原地区而言明显偏多。流域西北部降水相对较少,吴旗、环县、西吉 3 个站年降水量均小于 500 mm,分

别为 455.2、427.2、406.8 mm,西吉是该区降水最少的地区。近 50 年渭河流域整体降水呈现不显著的下降趋势,气候倾向率 -2.2 mm/10a(如图 4)。流域内部的 12 个站点降水均呈现出不同程度的减少趋势,减少速度最快的为华山和宝鸡,二者气候倾向率均为分别为 -45.7 mm/10a 和 -30.6 mm/10a,环县和平凉也分别达到了 -22.6 mm/10a 和 -21.0 mm/10a;减少速率最慢的为长武站(-11.0 mm/10a),50 年来减少了 55.0 mm。从空间分布特征来看(如图 5),全流域降水均呈现减少趋势,减幅较大的站点主要位于关中地区(华山、宝鸡和西安)和陇东(环县、西峰和平凉)一带,减幅较小的地区主要集中于丘陵沟壑区(吴旗)和长武塬区。流域整体和 12 个站点降水的年代际变化趋势相对一致(见表 1),1961—1970 年和 1971—1980 年降水为正距平,其中,1961—1970 年距平值最大,是近 50 年最湿润的 10 年;1991—2010 年为负距平,1991—2000 年流域平均距平值达 -45.1 mm,是最干旱的 10 年。

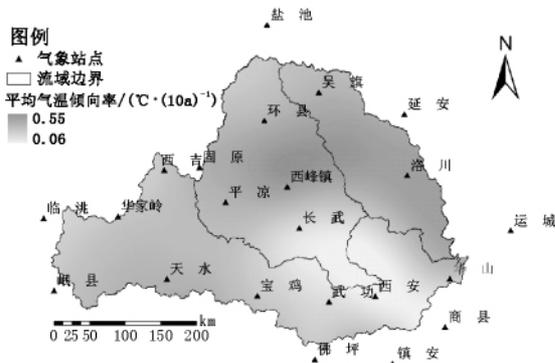


图 2 年平均气温气候倾向率空间分布

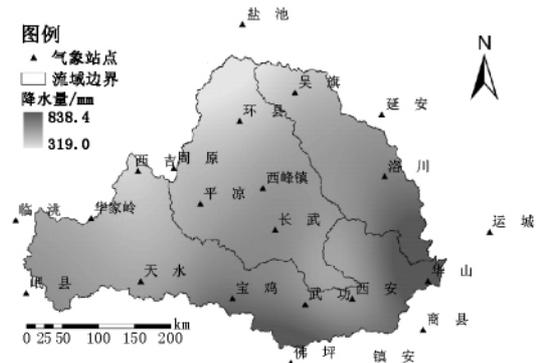


图 3 多年平均降水量空间分布

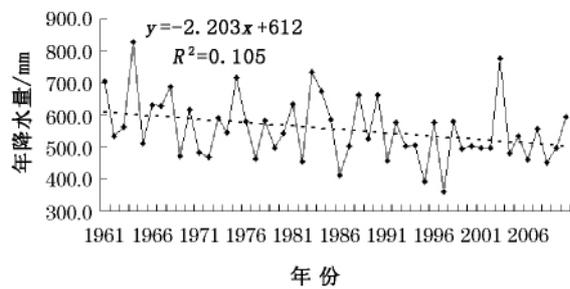


图 4 年降水量变化趋势

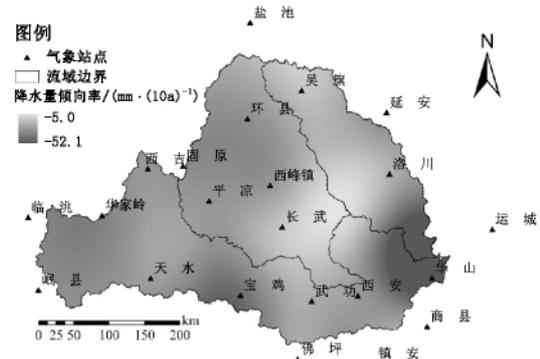


图 5 年降水量气候倾向率空间分布

表 1 各站点年平均气温和降水量年代距平

指标	时间	宝鸡	华山	环县	平凉	洛川	天水	吴旗	武功	西安	西峰	西吉	长武	平均值
气温距平/°C	1961—1970	-0.4	-0.4	-1.1	-0.5	-0.6	-0.5	-0.3	-0.4	-0.2	-0.7	-0.4	-0.2	-0.4
	1971—1980	-0.3	-0.3	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.5	-0.3	-0.1	-0.2
	1981—1990	-0.3	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3
	1991—2000	0.3	0.3	0.4	0.2	0.4	0.5	0.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.2	0.4
	2001—2010	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.5	-0.2	1.1	0.8	0.5	0.5
平均气温/°C	1961—1970	13.2	6.3	8.8	9.0	9.7	11.0	8.0	13.3	13.5	8.8	5.6	9.3	9.7
	1971—1980	48.4	76.0	97.6	76.4	69.1	56.0	85.2	41.5	24.4	58.7	72.4	21.5	62.4
	1971—1980	-15.3	58.6	-22.6	-6.6	-4.8	-15.2	-1.9	-7.2	-3.1	9.6	-12.5	2.7	-1.1
	1981—1990	72.5	71.3	-32.0	-15.9	-6.8	13.6	-31.0	53.8	59.1	-7.9	-8.3	30.6	17.0
	1991—2000	-58.9	-116.1	1.4	-14.5	-63.0	-56.2	-18.1	-83.4	-34.1	-44.9	-3.1	-55.4	-45.1
2001—2010	-59.7	-74.7	-31.5	-28.9	17.6	12.3	-15.5	-0.5	-48.7	-8.6	-37.6	2.5	-24.6	
年均降水量/mm	1961—2010	657.8	817.3	427.2	500.4	609.1	516.8	464.5	595.0	550.1	547.8	406.8	582.8	555.8

2.2 湿润指数空间分布及时空变化特征

地表湿润指数呈现出下降趋势 $[-0.02/10a(P>0.1)]$,同时表现出了明显的南北差异(图略),由南向

北干旱化逐步加剧。湿润指数多年平均值介于 0.4~1.0, 北部黄土高原丘陵沟壑区最干旱, 南部秦岭和关中地区最湿润。年际间波动较大, 最大值为 1964 年, 最小值为 1997 年。泾河和北洛河流域干湿分布规律与渭河流域整体类似。流域大部有变干趋势, 干旱化速率各有差异, 速率较大的为华山(-0.05/10a)和宝鸡(-0.03/10a), 西安和武功等地表现出变湿的趋势。

2.3 极端干湿事件变化特征

极端干湿频率统计的具体方法为, 计算逐个月份湿润指数的标准化变量, 然后分别计算每一年月湿润指数的标准化变量 ≤ -0.5 (≥ 0.5)的次数作为该年极端干(湿)事件发生的频率。由图 6 看出, 极端干旱事件频率在波动中呈增加趋势($P>0.1$), 年平均频率为 4.5 次, 频率 ≥ 5 次的年份共有 25 年(占 48%), 极大值出现在 20 世纪 90 年代中期; 极端湿润事件频率在波动中呈减少趋势($P>0.1$), 年平均频率为 3.1 次。进一步计算年湿润指数的标准化变量 $D_H, D_H \geq 0.5$ (≤ -0.5)记为一次极端湿润(干旱)年(表 2)。极端干旱事件频率从 20 世纪 60 年代发生 1 次增加到 20 世纪 90 年代发生 5 次; 2000 年以来首次出现频率为 6, 充分说明 2000 年以来的 10 年是 52 年来气候状况最为干燥的年代。极端湿润事件频率由 20 世纪 60 年代的 4 次降至 20 世纪 70 年代的 1 次, 后又增至 20 世纪 80 年代的 6 次, 这说明在此期间气候状况先变干后变湿; 20 世纪 90 年代成为极端湿润事件频率最小的年代(0 次), 2000 年以后微弱上升至 1 次, 说明 20 世纪 90 年代气候极度干旱。

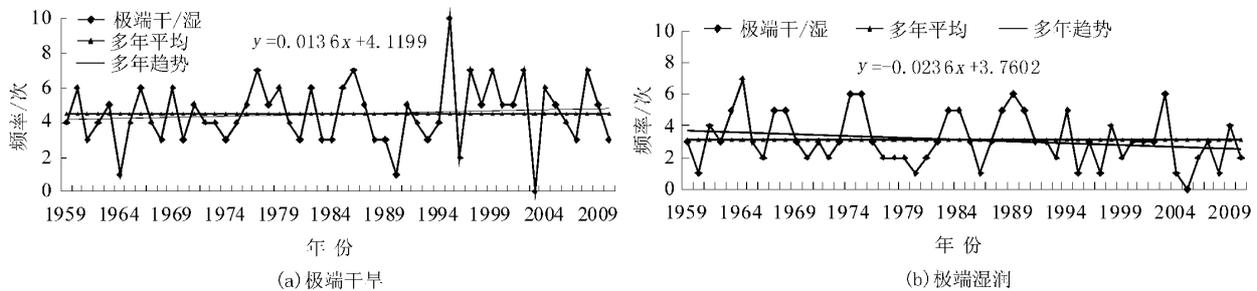


图 6 极端干和湿事件频率变化趋势

表 2 不同年代际极端干湿事件频率

年代	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2010 年	平均
极端干旱事件/次	1	4	3	5	6	3.8
极端湿润事件/次	4	1	6	0	1	2.4

3 结 论

1) 渭河流域多年平均气温为 9.7 °C, 东南部关中盆地一带相对较高, 西北部相对较低。近 50 年流域整体升温趋势显著($P<0.001$), 流域内部的 12 个站点升温步调非常一致。升温幅度较大的站点主要位于流域中部子午岭林区、陇东和流域北部丘陵沟壑区一带, 升温幅度较小的地区主要集中于关中盆地一带。多年平均降水量为 555.7 mm, 东南部秦岭南麓、关中盆地一带年降水相对较多, 西北部降水相对较少。近 50 年流域整体和流域内部的 12 个站点降水均呈现出不同程度的减少趋势, 减幅较大的站点主要位于关中地区和陇东一带, 减幅较小的地区主要集中于丘陵沟壑区和长武塬区。

2) 地表湿润指数表现为下降趋势, 具有明显的南北差异, 由南向北干旱化逐渐加重。北部黄土高原丘陵沟壑区最干旱, 南部秦岭和关中地区最湿润。流域大部有变干趋势, 干旱化速率较大的为华山和宝鸡, 西安、武功地区微弱变湿。

3) 极端干旱事件频率呈增加趋势, 频率 ≥ 5 次的年份占 48%, 极大值出现在 20 世纪 90 年代中期; 极端湿润事件频率呈减少趋势。年湿润指数标准化变量表明 2001—2010 年是气候状况最为干燥的年代; 20 世纪 60 年代至今气候干湿演替规律依次为湿—干—湿—干—干。

参考文献:

[1] 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.
 [2] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(3): 276-283.

- [3] 王菱, 谢贤群, 李运生, 等. 中国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿带界线的变化[J]. 地理研究, 2004, 23(1): 45-54.
- [4] 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.
- [5] 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): 2 429-2 439.
- [6] 左德鹏, 徐宗学, 程磊, 等. 渭河流域潜在蒸散量时空变化及其突变特征[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 975-982.
- [7] 左德鹏, 徐宗学, 李景玉, 等. 气候变化情景下渭河流域潜在蒸散量时空变化特征[J]. 水科学进展, 2011, 22(4): 157-169.

Temporal and Spatial Characteristics of Climate Change and Extreme Dry and Wet Events in Wei River Basin in Last 52 Years

JIANG Chong¹, WANG Fei^{1,2}, MU Xing-min^{1,2}, LI Rui^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: Based on the daily data of 23 meteorological stations from 1959 to 2010, the potential evaporation (ET_0) and humid index were calculated using the Penman-Monteith model. By using the method of Spline interpolation, climatic trend rate, normalized ratio and correlation analysis, the temporal and spatial variations of humid index, extreme arid and wet events as well as its influential factors were discussed. The main results were as follows: ① In the period of 1959—2010, the yearly average temperature decreased from the southeast to northwest of basin. Temperature presented a significant increasing trend, with a linear fitting rate of the annual temperature change curves being $0.2\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$. Higher increasing rate appeared in Ziwu Mountain, the eastern part of Gansu Province and hilly and gully region. The annual precipitation decreased from the southeast to northwest of basin. Precipitation presented an insignificant decreasing trend, with a linear fitting rate of the annual precipitation change curves being $-2.2\text{ mm}/10\text{a}$. Higher decreasing rate appeared in central part of Shaanxi Province and the eastern part of Gansu Province. ② The humid index was decreasing, but Guanzhong Region presented a slight trend of becoming wet; The result indicated that, drought phenomenon increased gradually from south to north, with driest condition in the loess hilly gully region and the wettest condition in Guanzhong Region and Qin Mountain; ③ The whole basin showed an increasing trend of extreme event frequency with the fluctuations of arid extreme events. Frequency which was above 5 accounted for 48% of total samples and the maximum value appeared in 1990s. Extreme wet event frequency decreased under the fluctuations of humid index, and the variation of climate was wet-dry-wet-dry since 1960s.

Key words: Wei River Basin; climate change; humid index; extreme arid and wet event; temporal and spatial characteristics