

# 川东盆地高温、暴雨特征及对气候变化的响应

杜华明, 董廷旭

(绵阳师范学院 资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000)

**摘要:**为更好地掌握川东盆地极端气候特征,采用线性回归、反距离加权空间插值(IDW)等方法就近 54 年来气候变化背景下川东盆地的高温、暴雨等极端气候事件进行了研究。结果表明:(1)近 54 年川东盆地年平均气温以  $0.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  的速率显著增加,年平均降水量以  $21.63\text{ mm}/10\text{ a}$  的速率显著减少,气候暖干化趋势明显。(2)川东盆地年平均高温日以  $0.95\text{ d}/10\text{ a}$  的速率增加;年平均高温日在空间分布式上具有明显地域差异,川东盆地全区年高温日均呈增加趋势。(3)川东盆地年平均暴雨日以  $0.03\text{ d}/10\text{ a}$  的速率减少;在空间分布上,万源、雅安是暴雨发生的高值中心;川东盆地的广元—阆中—遂宁一线以东地区年暴雨日呈增加趋势,广元—阆中—遂宁一线以西的大部分地区年暴雨日呈减少趋势。(4)川东盆地极端气候事件对暖干气候的响应表现为:高温日的发生频率增加了  $38.81\%$ ,强度加剧  $1.18\%$ ;暴雨日发生频率减少了  $0.78\%$ ,但强度增加了  $1.66\%$ 。

**关键词:**气候特征;高温;暴雨;川东盆地

中图分类号:P429

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0147-05

## Characteristics of High Temperature and Heavy Rain in East Sichuan Basin and Its Response to Climate Change

DU Huaming, DONG Tingxu

(College of Resources and Environment Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000, China)

**Abstract:** To understand the extreme climate characteristics of Sichuan Basin, by using methods of linear regression, inverse distance weighted interpolation (IDW), the extreme climate events such as high temperature and heavy rain were analyzed in East Sichuan Basin. The results showed that: (1) the temperature warming rate was  $0.10^{\circ}\text{C}/\text{decade}$  in the last 54 years in Sichuan Basin; the precipitation presented a decreasing trend at the rate of  $21.63\text{ mm}/\text{decade}$ , climate warming-drying trend was apparent. (2) the annual average high temperature days presented an increased trend by  $0.95\text{ d}/\text{decade}$  in East Sichuan Basin; the annual average high temperature days had an obvious regional differences, the annual high temperature days all presented an increasing trend in East Sichuan Basin. (3) the average rainstorm days presented the decreasing trend at the rate of  $0.03\text{ d}/\text{decade}$ ; Wanyuan and Ya'an were the high value centers of rainstorm days; the rainstorm days showed an increasing trend in the east of Guangyuan—Langzhong—Suining, most areas showed a decreasing trend in the west of Guangyuan—Langzhong—Suining. (4) in the background of warming-drying climate, the frequency of high temperature had increased by  $38.81\%$ , strength exacerbated  $1.18\%$ ; rainstorm days decreased by  $0.78\%$  in frequency, but increased by  $1.66\%$  in strength.

**Keywords:** climate characteristics; high temperature; rainstorm; East Sichuan Basin

IPCC 第五次评估报告指出,1880—2012 年,全球气温上升了  $0.85^{\circ}\text{C}$  ( $0.65\sim 1.06^{\circ}\text{C}$ )<sup>[1]</sup>,伴随全球气候变暖,极端气候事件增多<sup>[2]</sup>,导致各类气象灾害频发<sup>[3]</sup>。Bergholt 等<sup>[4]</sup>的研究表明,气候变暖会使洪水、热带气旋、暴风雨等灾害发生的频率与程度加剧;Knutson 等<sup>[5]</sup>的研究认为,二氧化碳增加引起的气候变暖致使飓风强度增加;Allan 等<sup>[6]</sup>通过运用卫星观

测与模型模拟对人为因素导致的全球变暖与极端降水事件的分析指出,气候变暖,极端降水事件增多;邓自旺等<sup>[7]</sup>的研究认为伴随全球气候变暖长江三角洲夏季出现极端高温事件的概率增加;Sha 等<sup>[8]</sup>的研究指出,气候变化的加剧致使我国洪水和风暴发生的频率与强度增大。

川东盆地特殊的地理位置和环流条件使得该区

高温和暴雨等极端气候事件高发,川东盆地人口密集,高强度的极端气候事件易于造成严重的损失,如 2006 年 8 月 6—10 日,乐山市人民医院和市红十字会急救和治疗 6 000 多名“热病”患者<sup>[9]</sup>;2013 年 7 月 9—11 日都江堰地区连续 3 d 暴雨引发的高位山体滑坡,造成 43 人死亡,失踪和失联人数达 118 人<sup>[10]</sup>。高温和暴雨事件严重危及川东盆地人民的生命安全和阻碍区域经济发展,因此,对川东盆地气候变化背景下的极端气候事件的研究显得尤为重要。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 资料来源

文中气候分析所用数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。对川东盆地各站点数据资料进行了严格的质量筛选;剔除观测年份较短、记录不全的 5 个站点的资料,对仅有个别缺测年份的数据进行插补处理,本研究共选取 17 个气象站点(图 1)1961—2014 年的日最高气温、日平均气温、日降水量资料等作为基础数据。根据中国气象局规定,日降水量≥50 mm 为一个暴雨日,日最高气温≥35℃为一个高温日<sup>[11]</sup>。

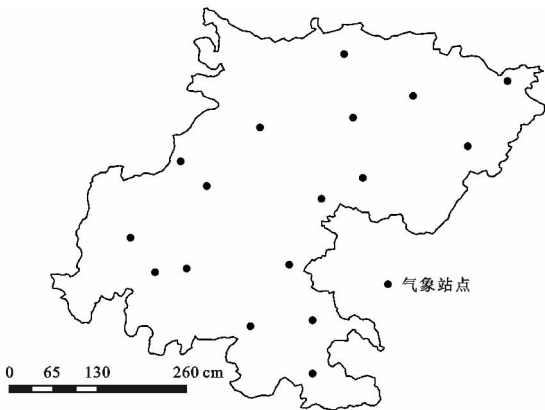


图 1 川东盆地气象站点分布

### 1.2 研究方法

(1) 气候倾向率。用于描述某种气象要素  $x$  的长期变化趋势,可采用线性回归方程的方法:

$$x=b+at \quad (t=1,2,3,\cdots,n) \quad (1)$$

式中: $x$  为气象要素的逐年值; $b$  为常数; $a$  为回归系数,当  $a$  为正(负)时,表示气象要素  $x$  在计算时段内的线性增加(减少);10 a 称为气候变化倾向率,其单位为某气候要素单位/10 a<sup>[12]</sup>;  $t$  为年份序号。

(2) 反距离权重法。反距离权重法已被广泛用于气象数据的空间分析<sup>[13]</sup>,其算法公式为<sup>[14]</sup>:

$$Z=\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p} Z_i / \sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p} \quad (2)$$

式中: $Z$  为插值点的气象要素估计值; $Z_i$  为某一气象

要素在第  $i$  个站点的实测值; $d_i$  为插值点与第  $i$  个站点之间的距离; $n$  为用于插值的气象站点的数目; $p$  为距离的幂,文中取值 2,即反距离平方插值。

## 2 结果与分析

### 2.1 川东盆地气候变化特征

川东盆地多年年平均气温为 16.10℃,通过对年平均气温序列(图 2)的一元线性回归趋势的拟合效果进行检验,发现增温倾向率为 0.10℃/10 a( $r=0.38, p<0.01$ ),整体上川东盆地的增温速率远低于中国(0.22℃/10 a<sup>[15]</sup>)和四川省(0.17℃/10 a<sup>[16]</sup>)近半个世纪气温的增温速率。通过对川东盆地年平均气温的 M-K 突变检验发现,区域年平均气温在 1998 年发生突变,从 1998 年开始,年平均气温显著上升;1961—1997 年年平均气温为 15.93℃,1998—2014 年年平均气温为 16.46℃,突变之后的年平均气温比突变之前增加了 0.53℃。川东盆地年代平均气温呈 1980s<1960s<1970s<1990s<2011—2014 年<2001—2010 年,20 世纪 80 年代气温最低,2001—2010 年的年平均气温最高,进一步证明了川东盆地 1998 年以来表现出显著的增温趋势,1998 年以来的气温增加对该区域气温升高的贡献最大。

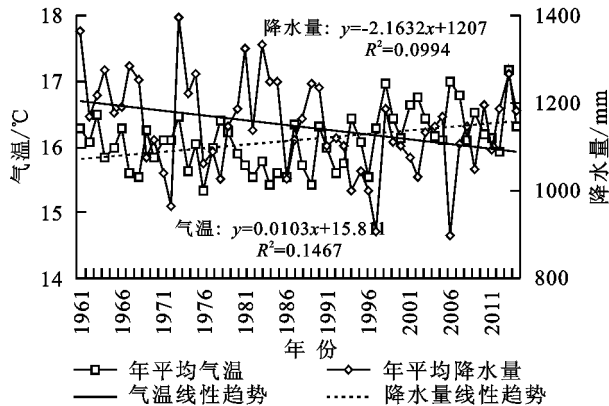


图 2 川东盆地年平均气温、降水量变化趋势

川东盆地近 54 年的年平均降水量为 1 147.51 mm,川东盆地年代平均降水量呈 1990s<2001—2010 年<1970s<2011—2014 年<1980s<1960s。近 54 年来川东盆地年平均降水量以 21.63 mm/10 a 的速率显著减少( $r=-0.32, p<0.05$ )。对川东盆地年平均降水量序列进行 M-K 检验发现,年平均降水量在 1983 年发生突变,从 1983 年开始年平均降水量显著减少。1961—1982 年年平均降水量为 1 181.33 mm,1983—2014 年年平均降水量为 1 124.27 mm,突变之前的年平均降水量比突变之后多 57.06 mm。

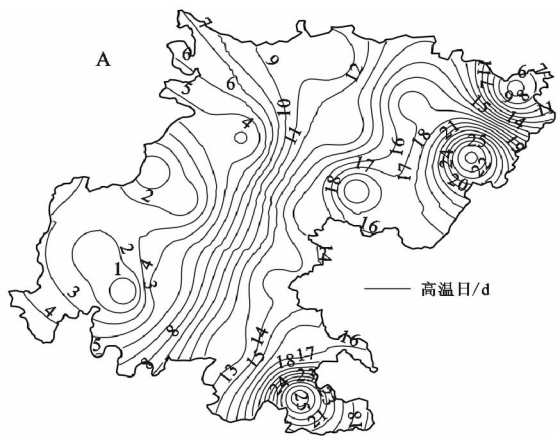
### 2.2 年平均高温日时空特征

#### 2.2.1 高温日时间演变趋势 高温日季节分布特

征。川东盆地高温日主要集中于夏季,占年高温总频次的89.82%,其中8月高温日占全年高温日总数的46.43%,7月年高温日占全年高温日总数的35.18%;秋、春季各占7.26%和2.92%;冬季无高温日出现。

高温日年际变化特征。近54年川东盆地年平均高温日为10.48 d。由图3可知,高温日的年际差别很大,年平均高温日达到20 d以上的年份为1997年、2006年、2011年,其中,2006年是发生高温日最多的年份,为32.53 d,1983年和1987年年平均高温日次数较低,分别为1.24 d和1.35 d。1998年之前的年平均高温日为9.34 d,1998年以来的年平均高温日为12.96 d,高温发生频率增加了38.81%,通过对1998年前后高温日平均温度的分析发现,1998年以来的高温日平均温度(36.57℃)明显高于1998年之前的高温日平均温度(36.14℃),说明高温强度也呈加重趋势发展,高温程度加剧1.18%。从高温日的长期变化趋势看,近54年来区域年平均高温日呈增加趋势,增加倾向率为0.95 d/10 a。

年代平均高温日变化特征。20世纪80年代是川东盆地高温发生频率最低的时段,为5.40 d;其次是90年代和60年代,年平均高温日分别为10.15 d和10.36 d;70年代年均高温日为10.47 d;2001—2010年年平均高温日为13.72 d;2011—2014年年平均高温日发生频率最高,为16.16 d。



注:阴影区域通过90%的信度检验。

图4 川东盆地年平均高温日及变化倾向率空间分布

由图4B可知,川东盆地全区年高温日均呈增加趋势,但增加的速率有所不同,万源—巴中—遂宁—成都—雅安一线年高温日增加幅度较小,增速在0.35~0.84 d/10 a;该线以北的广元、阆中两地增温趋势显著,增加倾向率分别为1.61、1.68 d/10 a,该线以南的乐山、内江、宜宾等地增加幅度亦较大,乐山、内江的增加倾向率分别为1.94、1.26 d/10 a,宜宾增加幅度最大,为2.39 d/10 a。

### 2.3 年平均暴雨日时空特征

2.3.1 暴雨日时间演变趋势 暴雨日季节分布特

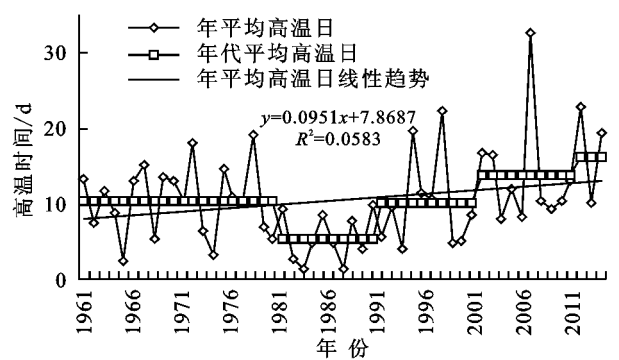
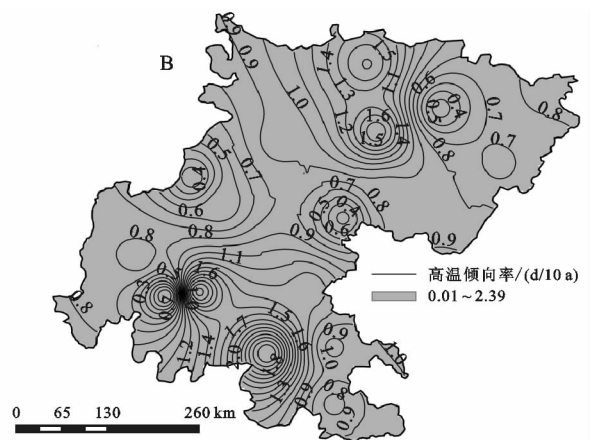


图3 川东盆地年平均高温日时间序列

通过对川东盆地年平均高温日与年平均气温进行Pearson相关分析发现,该区域年平均高温日与年平均气温存在显著正相关关系,相关系数为0.48 ( $p < 0.01$ ),年平均气温越高,年平均高温日出现频次愈高,年平均气温的高低是影响年平均高温日出现频次的重要因素。

2.2.2 高温日空间分布特征 由图4A可以看出,川东盆地年平均高温日总的分布具有明显的经度地带性特征,年平均高温日由西向东增加。川东盆地西部的峨眉山地区无高温日,都江堰年平均高温日为0.15 d,绵阳—成都—乐山—一线年平均高温日为1.22~4.52 d;盆地中部的广元—阆中—内江—宜宾—一线年平均高温日为9.26~13.26 d;东部地区的巴中—高坪—泸州—一线的年平均高温日为15.37~18.81 d,东部的达县、叙永两地年平均高温日较高,分别为25.28 d和25.59 d。



征。夏季是川东盆地暴雨高发期,暴雨日占全年暴雨日总数的75.70%,其中7月、8月暴雨日分别占全年的32.89%和29.40%;其次是秋季,秋季暴雨日占全年的16.19%,春季暴雨日占全年的8.11%,冬季无暴雨日。

暴雨日年际变化特征。近54年川东盆地年平均暴雨日的平均值为3.85 d。由图5可知,暴雨日的年际差别很大,出现平均暴雨日达到5 d的年份有1981年、1983年,年暴雨日次数在3 d以下的年份有1971

年、1972 年、1976 年、1996 年、1997 年、1999 年、2006 年。近 54 年,川东盆地年平均暴雨日呈减少趋势,减少倾向率为 0.03 d/10 a。通过对川东盆地年平均降水量突变前后的暴雨日的分析发现,1983 年之前的年平均暴雨日为 3.86 d,1983 年以来的年平均暴雨日为 3.83 d,暴雨日发生频率减少了 0.78%,通过对 1983 年前后的暴雨强度的分析发现,1983 年以来的暴雨强度(81.26 mm)明显高于 1983 年之前的暴雨强度(79.93 mm),说明暴雨强度呈现加重趋势发展,暴雨程度加剧 1.66%。

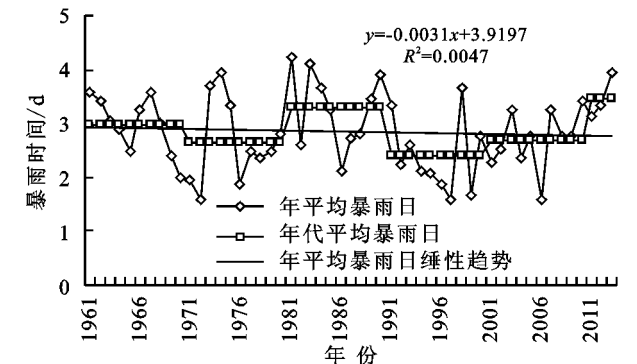
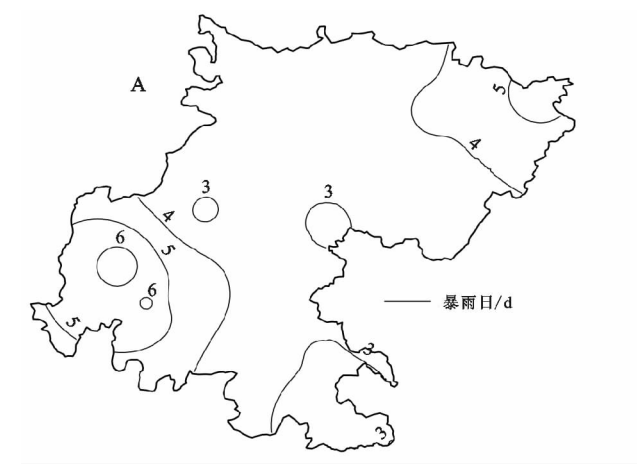


图 5 川东盆地年平均暴雨日出现频次

年代平均暴雨日变化特征。川东盆地年代平均暴雨日呈 1990s<1970s<2001—2010 年<1960s<1980s<2011—2014 年,2011—2014 年是川东盆地暴雨发生频率最高的时段,其次是 20 世纪 80 年代,结合



注:阴影区域通过 90% 的信度检验。

### 3 结论

(1) 近 54 年来,川东盆地年平均气温以 0.10 ℃/10 a 显著升高,年平均气温在 1998 年发生突变,突变之后的年平均气温比突变之前增加了 0.53℃;年平均降水量以 21.63 mm/10 a 的速率显著减少,年平均降水量在 1983 年发生突变,突变之后的年平均降水量比突变之前少 57.06 mm。

(2) 川东盆地年平均高温日呈增加趋势,增加倾

相关历史资料发现,这两个时段也是川东盆地洪涝灾害、滑坡泥石流等次生灾害的高发阶段。

通过对川东盆地年平均暴雨日与年平均降水量进行 Pearson 相关分析,得出该区域年平均暴雨日与年平均降水量存在高度正相关关系,相关系数为 0.83 ( $p<0.01$ ),年平均降水量越高,年平均暴雨日出现频次愈高,年平均降水量的多少是影响年平均暴雨日出现频次的重要因素。

2.3.2 暴雨日空间分布特征 由图 6A 可知,暴雨日总的分布呈现出明显的地域差异,川东盆地西南部最高,其次是东北部地区暴雨发生频率较高,盆地中部和东南部地区暴雨发生频次相对较低。具体看,川东盆地地区存在暴雨日分布的两个高值中心,一个是万源地区,年平均暴雨日为 5.44 d;另外一个为雅安、峨眉山和乐山地带,雅安地区年平均暴雨日最高,为 6.50 d,峨眉山、乐山年平均暴雨日分别为 6.07 d 和 4.69 d。都江堰—成都—宜宾一线以东、广元—巴中—达县一线以西的大部分地区年平均暴雨日在 2.26~4.11 d 的范围内。

从图 6B 可以看出,叙永、广元—阆中—遂宁一线及其以东地区年暴雨日呈增加趋势发展,增加倾向率为 0.01~0.37 d,除叙永以外的广元—阆中—遂宁一线以西的大部分地区年暴雨日呈减少趋势发展,减少倾向率为 0.01~0.38 d/10 a。

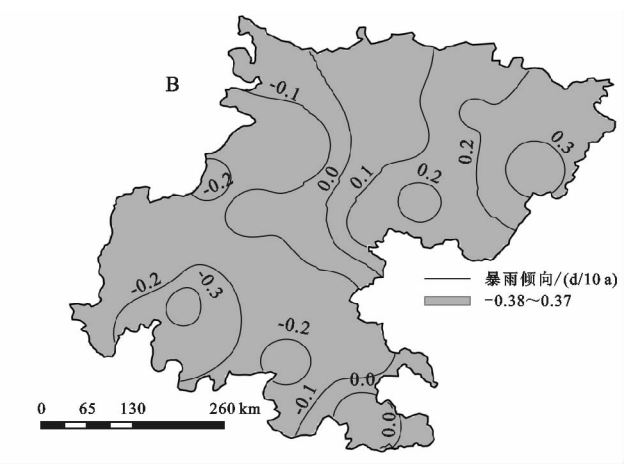


图 6 川东盆地年平均暴雨日及变化倾向率空间分布

向率为 0.95 d/10 a;川东盆地年平均气温突变后的高温发生频次增加了 38.81%,强度加剧 1.18%。川东盆地年平均高温日总的分布具有经向地带性特征,地域差异显著,年平均高温日为 0~25.59 d;川东盆地全区年高温日均呈增加趋势,但增加的速率有所不同,万源—巴中—遂宁—成都—雅安一线年高温日增加幅度较小,该线以北、以南地区增温幅度较大。

(3) 川东盆地暴雨日主要集中在夏季,夏季暴雨日占全年暴雨日总数的 75.70%;川东盆地年平均暴

雨日以  $0.03 \text{ d}/10 \text{ a}$  的速率减少。通过对川东盆地年平均降水量突变前后暴雨日的分析发现,突变后暴雨日发生频率减少了  $0.78\%$ ,暴雨程度加剧  $1.66\%$ 。川东盆地存在两个暴雨高值中心,分别是万源、雅安;广元—阆中—遂宁一线及其以东地区年暴雨日呈增加趋势,除叙永以外的广元—阆中—遂宁一线以西的大部分地区年暴雨日呈减少趋势。

#### 参考文献:

- [1] Stocker T F. Stocker. Climate change 2013[R]. Sweden: Stockholm, 2013.
- [2] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, et al. Climate extremes: observations, modeling, and impacts [J]. Science, 2000, 289(5487): 2068-2074.
- [3] Demirkesen A C. Multi-risk interpretation of natural hazards for settlements of the Hatay province in the east Mediterranean region, Turkey using SRTM DEM[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 65(6): 1895-1907.
- [4] Bergholt D, Lujala P. Climate-related natural disasters, economic growth, and armed civil conflict[J]. Journal of Peace Research, 2012, 49(1): 147-162.
- [5] Knutson T R, Tuleya R E, Kurihara Y. Simulated increase of hurricane intensities in a  $\text{CO}_2$ -warmed climate[J]. Science, 1998, 279(5353): 1018-1021.
- [6] Allan R P, Soden B J. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes [J]. Science, 2008, 321(5895): 1481-1484.
- [7] 邓自旺, 丁裕国, 陈业国. 全球气候变暖对长江三角洲极端高温事件概率的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 42-47.
- [8] Sha C, Bi X. Natural disasters and average temperature in China[J]. Disaster Advances, 2013, 6(3): 41-42.
- [9] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴 2007[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [10] 蒋亮. 都江堰高位山体滑坡灾害已致 43 死失踪失联 118 人[EB/OL]. (2013-07-13). <http://scnews.news-sc.org/system/2013/07/13/013810888.shtml>.
- [11] 中国气象局. 中国灾害性天气气候图集[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [12] 王祥荣, 王愿. 全球气候变化与河口城市脆弱性评价: 以上海为例[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [13] 林忠辉, 莫兴国, 李宏轩, 等. 中国陆地区域气象要素的空间插值[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 47-56.
- [14] 李正泉, 吴尧祥. 顾及方向遮蔽性的反距离权重插值法[J]. 测绘学报, 2015, 44(1): 91-98.
- [15] 任国玉, 初子荧, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [16] 杜华明, 延军平. 四川省气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2491-2500.
- ~~~~~
- (上接第 146 页)
- [5] 史培军. 中国土壤风蚀研究的现状与展望[R]. 北京: 第十二届国际水土保持大会, 2002.
- [6] 朱震达, 陈治平, 吴正. 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [7] 闫玉春, 唐海萍, 张新时, 等. 基于土壤粒度分析的草原风蚀特征探讨[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1263-1268.
- [8] 高君亮, 高永, 罗凤敏, 等. 表土粒度特征对风蚀荒漠化的响应[J]. 科技导报, 2014, 32(25): 20-25.
- [9] 王淮亮, 李玉宝, 虞毅, 等. 基于 Erdas 的地表粗粒信息提取模块设计与客户化[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2012, 43(3): 413-418.
- [10] 王淮亮, 高君亮, 原伟杰, 等. 戈壁灌丛堆周边地表土壤颗粒的空间异质特征[J]. 植物生态学报, 2013, 37(5): 464-473.
- [11] 王淮亮, 李玉宝, 高君亮, 等. 风蚀地表颗粒含量提取技术: 基于决策树图像分类[J]. 农机化研究, 2013, 35(2): 134-137.
- [12] 高君亮, 李玉宝, 虞毅, 等. 毛乌素沙地不同土地利用类型土壤分形特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 220-223.
- [13] 内蒙古自治区林业厅. 内蒙古自治区第五次荒漠化和沙化监测实施细则[S]. 呼和浩特, 2014.
- [14] 达尔罕茂明安联合旗志编纂委员会. 达尔罕茂明安联合旗志[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1994.
- [15] Chepil W S. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: IV. sand, silt, and clay[J]. Soil Science, 1955, 80(2): 155-162.
- [16] 陈广泉, 刘文全, 于洪军, 等. 基于 GIS 的莱州湾南岸土壤盐渍化特征分析研究[J]. 海洋科学进展, 2012, 30(4): 501-507.
- [17] 刘良梧. 半干旱农牧交错带栗钙土的发生与演变[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 174-181.
- [18] 李绍良, 康师安. 内蒙古草原土壤退化进程及其评价指标的研究[J]. 土壤通报, 1997, 28(6): 241-243.
- [19] 李绍良, 陈有君. 土壤退化与草地退化关系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 92-95.