

基于 GIS 的华东地区高温灾害危险性分析^{*}

张书娟¹, 尹占娥¹, 刘耀龙², 温家洪¹, 张 华¹, 安佑志¹

(1. 上海师范大学 旅游学院地理系, 上海 200234; 2. 华东师范大学 资源与环境科学学院, 上海 200062)

摘 要: 基于高温灾害危险性分析基本思路, 运用 Pearson-III 型概率模型进行高温强度—频率估算; 借助 ArcGIS 地统计分析和栅格重分类工具开展华东地区高温灾害危险性评估与分区。研究表明: 100 年一遇情景下, 华东 7 省市高温强度分布在 0 ~ 73.25 d/a, 且以 35 ~ 65 d/a 最为集中; 高温灾害强度在空间上呈现出“中心—外围扩散”模式, 即以福建省的南平和永安为高温中心, 依次向外围递减; 到江苏省和山东省则出现明显的高温“低值”区域。高温高危险等级分布在江西、福建和浙江交汇区域, 低危险等级广泛分布在江苏、安徽和山东等地; 随着重现期降低, 高温危险等级逐渐降低, 高危险区域面积逐渐减少。

关键词: GIS; 高温灾害; 危险性分析; 华东地区

中图分类号: X4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)02-0059-07

近百年来, 地球气候正经历一场以变暖为主要特征的显著变化^[1], 且变暖的趋势将在短期内难以逆转^[2]。气候变暖会使不同尺度区域天气和气候极端事件的出现频率发生显著变化^[2-3]。受全球气候变暖和区域快速城市化、工业化造成的城市热岛效应的双重影响, 我国华东地区近 50 年气温增暖更为显著^[4]; 而长江流域及其以南地区, 几乎每年都会出现持续 10 d 以上的强度大、范围广的极端高温灾害天气, 高温天气已经成为华东地区夏季主要灾害性天气之一^[5-12]。进入 21 世纪以来, 华东地区高温灾害天气日数和强度都明显增加, 尤其 2003 年以来, 华东一些省份竟达到每年 40 ~ 60 d 的高温天气, 其持续时间之长、范围之广、强度之大都是近几十年来所罕见的。

据中国气象局规定, 日极端最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天气称为高温天气, 日极端最高气温 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 的天气称为酷暑天气, 连续 3 d 以上的高温天气称为高温热浪。研究指出, 当气温达到 30 ~ 34 $^{\circ}\text{C}$ 时, 人体生理活动开始受到影响, 当气温达到 35 $^{\circ}\text{C}$ 以上时, 人体的调节功能大减, 容易出现疲劳、烦躁等, 还会引起人们晕厥、中暑。持续多日的高温酷热使城市供水供电设备超负荷运行, 造成部

分地区缺水缺电, 严重影响广大人民群众的生产生活^[13]。

对于华东地区高温灾害天气, 国内已开展了一些研究, 主要是针对华东地区夏季高温期的气候特征分析、变化规律及成因分析^[5-9], 以及高温期气象条件对用电影响的评估研究等^[10], 但从灾害风险的角度对华东地区高温灾害危险性进行分析的文献却不多。因此, 本文尝试从灾害风险评估视角, 基于 GIS 地统计分析和栅格重分类技术, 开展华东地区 7 省市高温灾害危险性评价与分级研究, 拟为区域降险减灾提供科学依据。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区概况

按照中华人民共和国行政区划, 华东地区包括 6 省 1 市(包括台湾为 7 省 1 市), 分别为江苏省、浙江省、安徽省、福建省、江西省、山东省和上海市(图 1), 1950-1954 年曾为一级行政区域。整个区域介于 24°27'36" ~ 38°14'24"N, 122°42'36" ~ 113°32'24"E 之间, 辖区面积 79.47 万 km^2 , 占国土面积的 8.28%。华东地区季风性气候显著, 夏季高温

^{*} 收稿日期: 2010-08-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071324, 40730526); 上海市科委创新行动计划(08240514000); 上海市教委重点学科项目(J50402); 上海师范大学重点培育学科项目(DZL801); 华东师范大学优秀博士研究生培养基金(2010035)

作者简介: 张书娟(1984-), 女, 山西长治人, 研究生, 主要从事城市自然灾害、GIS 和城市旅游管理研究。

E-mail: zsj6252007@126.com

通讯作者: 尹占娥(1963-), 女, 山西兴县人, 副教授, 主要从事遥感、GIS 和城市灾害等研究. E-mail: Zhaneyin@126.com

多雨，冬季寒冷干燥，地形特征以丘陵、盆地、平原为主。

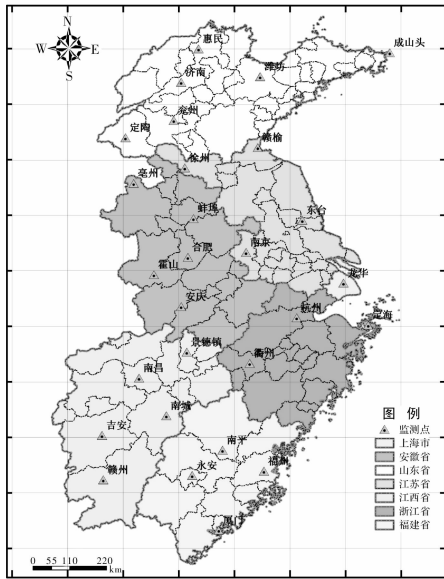


图1 华东地区高温监测点分布图

西太平洋副热带高压是每年影响华东地区极端高温天气频次和强度的首要因素^[7]，2005 年 6 月，高温使得华东地区用电量持续攀升，23 日晚上，整个华东电网的最高电力负荷突破 8 000 万 kW 的历史最高水平，比 2004 年同期增长了近 20%。2007 年 7 月 12 日 12 时，南昌市气象台向全市范围发布高温橙色预警信号，受持续高温天气影响，连续 6 d 南昌市电网负荷用量已破纪录，日用水量逼近峰值。2009 年 7 月 20 日上海竟达 40 ℃ 高温，创 75 年新高，且 7 月份出现 8 个高温日。

1.2 数据来源和研究方法

华东地区 7 省市 28 个站点的日最高气温数据主要来源于中国气象科学数据共享服务网站 (<http://cdc.cma.gov.cn/>)，数据起止时间是 1951 年 01 月 01 日 - 2009 年 03 月 31 日，原始数据格式为 .TXT，数据单位为 0.1 ℃，缺失部分参考 7 省市、区、县《统计年鉴》和《气候年鉴》，各个省市站点分布状况见图 1 和表 1。

选取日最高气温 ≥ 35 ℃ 的年高温天数 (d/a) 作为高温危险性分析基本指标，运用 Pearson-Ⅲ 型概率模型对 28 个监测站点进行不同频率下高温强度估算。其中，Pearson-Ⅲ 型概率密度函数为：

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - \alpha_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x - \alpha_0)}, \quad (1)$$

式中：Γ(α) 为 α 的伽玛函数；α, β, α₀ 为三个参数。显然，三个参数确定后，该密度函数即随之

确定。推证可知：

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2}, \quad (2)$$

$$\beta = \frac{2}{x C_v C_s}, \quad (3)$$

$$\alpha_0 = x \left(1 - \frac{2 C_v}{C_s} \right), \quad (4)$$

式中：x 为平均值，C_v 为离差系数；C_s 为偏差系数 (这三个系数一般要用矩法、最小二乘法、概率权重法或者适线法确定的)。其中，重现期 T_n (年) 与年频率 P (%) 的关系为：

$$T_n = \frac{1}{p}. \quad (5)$$

表 1 1951 - 2008 年 28 个站点不同重现期高温灾害强度

编号	站点	省市	重现期/年					
			2	5	10	20	50	100
1	龙华	上海	8.55	16.58	22.28	27.82	35.00	40.35
2	徐州		8.85	15.83	20.87	25.82	32.26	37.08
3	赣榆		2.29	6.06	8.90	11.73	15.47	18.30
4	南京	江苏	12.62	21.55	27.45	33.01	40.02	45.15
5	东台		5.15	11.24	15.60	19.86	25.39	29.52
6	杭州		22.24	33.77	40.95	47.52	55.61	61.43
7	定海	浙江	1.74	5.10	7.70	10.32	13.82	16.48
8	衢州		26.89	39.24	46.84	53.73	62.16	68.20
9	亳州		14.96	24.40	30.60	36.41	43.37	49.07
10	蚌埠		15.61	25.47	31.78	37.62	44.91	50.19
11	霍山	安徽	18.57	29.47	36.67	43.45	52.00	58.26
12	合肥		13.22	22.94	29.41	35.50	43.21	48.87
13	安庆		17.89	28.85	35.49	41.48	48.80	54.03
14	南平		39.86	50.95	57.20	62.60	68.94	73.32
15	福州	福建	25.52	36.87	43.97	50.46	58.48	64.26
16	永安		40.20	50.14	55.64	60.35	65.83	69.58
17	厦门		3.63	7.98	11.17	14.30	18.40	21.27
18	吉安		34.66	46.28	53.11	59.15	66.39	71.48
19	赣州		34.27	42.84	47.44	51.30	55.72	58.71
20	景德镇	江西	31.13	42.85	49.41	55.05	61.65	66.19
21	南昌		24.84	34.70	39.99	44.42	49.49	52.91
22	南城		27.37	37.45	43.10	47.96	53.65	57.58
23	惠民		7.61	14.43	19.42	24.34	30.78	35.61
24	成山头		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	济南	山东	13.20	22.01	27.79	33.63	40.83	46.13
26	潍坊		7.45	12.75	16.28	19.61	23.82	26.92
27	定陶		7.59	13.75	18.16	22.46	28.04	32.21
28	兖州		8.04	15.50	20.71	25.74	32.22	37.03

最后基于 ArcGIS 的统计分析 “Geostatistical Analyst” 模块的 “Geostatistical Wizard” 工具，进行华东地区 6 种典型重现期条件下 (100 年、50 年、20 年、10 年、5 年和 2 年一遇) ≥ 35℃ 高温天数 (d/a) 空间分析与展布，其中 6 种典型情景的设置是按

照原始数据时间尺度并基于洪水灾害评估的方法作为选取依据。运用“Spatial Analyst”模块中“Re-classify”重分类工具实现高温灾害危险性定量指标的定性分级, 进而量算不同等级高温危险区空间面积^[14]。

2 高温灾害危险性分析

2.1 高温灾害强度—频率分析

基于 P-III 概率函数, 估算出华东地区 7 省市 28 个高温监测站点 6 种典型重现期条件下 (100 年、50 年、20 年、10 年、5 年和 2 年一遇) 强度值 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的年高温天数 (d/a)) (表 1)。具体计算方法为: 利用 57 年 (1951—2008 年) 华东 28 个站点的日最高气温监测资料, 首先运用 Excel 对单点、不同年份日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温天数分别进行统计提取; 其次, 建立 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温天数的时间序列; 最后, 采用 Pearson-III 型概率分析法计算不同频率下高温强度的数值, 并分别绘制 27 个站点的年高温天数—频率适线图, 从图中可以显示各个站点在 6 种典型频率下的高温强度值 (山东省的成山头站点高温

强度分布不规律, 没有绘制适线图)。

从 28 个监测站点高温频率——强度数据来看, 百年一遇高温灾害强度超过 60 d/a (即两个月以上) 的站点有 7 个, 占总数的 25%; 其中, 福建省的南平和江西省的吉安均超过 70 d/a, 分别为 73.32 d/a 和 71.48 d/a。高温强度介于 30~60 d/a 的站点有 16 个, 占总数的 57.14%; 低于 30 d/a 的站点有 5 个, 占总数的 13.16%。50 年一遇水平的年高温日数 60 d/a 以上的站点有 5 个, 低于 30 d/a 的有 7 个。多数站点 5 年、10 年和 20 年一遇的高温强度不超过 60 d/a。2 年一遇的高温强度则广泛分布在 30 d/a 左右。6 种典型重现期条件下, 高温强度的总体站点趋势变化不一, 基本上以永安、南平、吉安、赣州为首, 潍坊、东台、厦门、赣榆、定海为低。

2.2 高温灾害强度空间分布

在 28 个监测站点高温频率——强度分析的基础上, 运用 ArcGIS 的统计分析模块, 计算得到 6 种典型重现期条件下 (100 年、50 年、20 年、10 年、5 年和 2 年一遇) $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温天数 (d/a) 空间分布图 (图 2) 和不同高温强度范围的空间面积 (表 2)。

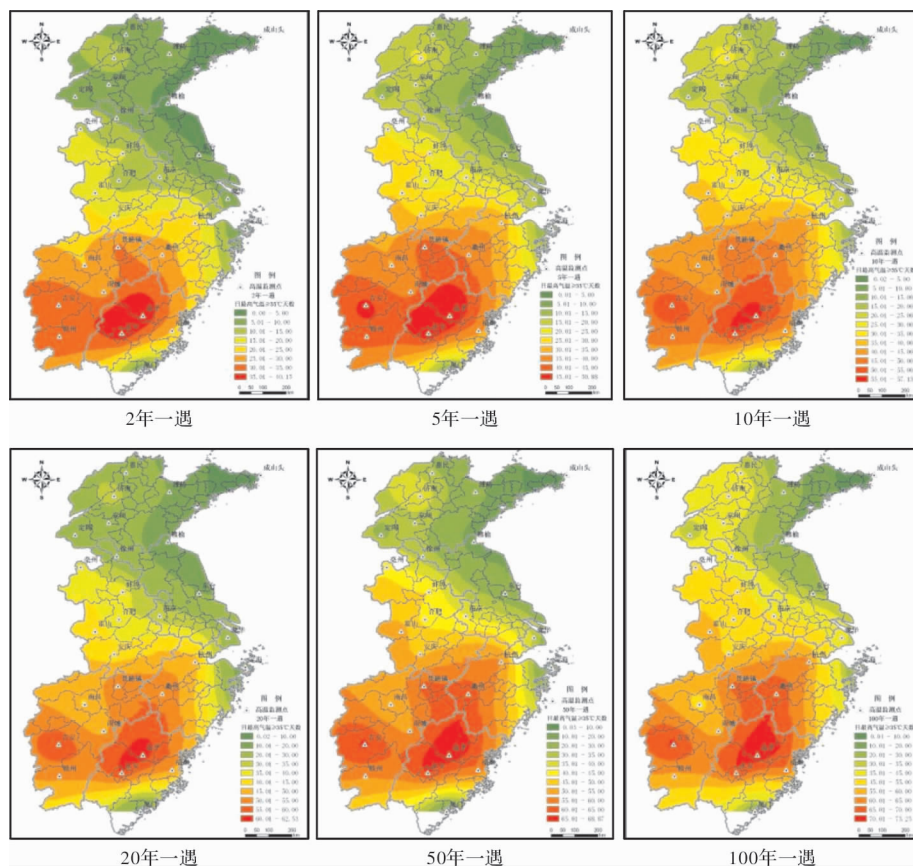


图2 华东地区7省市典型重现期条件下高温天数空间分布图

表 2

6 种典型重现期条件下不同高温天数的空间面积统计

万 km²

分级/d	重现期/a	分级/d	重现期/a	分级/d	重现期/a	分级/d	重现期/a	分级/d	重现期/a	分级/d	重现期/a
	2		5		10		20		50		100
0~5	6.27	0~-5	1.07	0~5	0.69	0~10	1.61	0~10	1.07	0~-10	0.85
5~10	17.12	5~10	5.13	5~10	1.97	10~20	7.49	10~20	4.10	10~20	2.57
10~15	11.01	10~15	10.06	10~15	5.02	20~30	17.96	20~30	10.36	20~30	6.91
15~20	10.21	15~20	11.70	15~20	9.11	30~35	5.56	30~35	8.99	30~35	6.16
20~25	8.72	20~25	7.53	20~25	10.55	35~40	8.06	35~40	6.30	35~-45	14.44
25~30	11.51	25~30	8.72	25~30	6.24	40~45	7.76	40~45	6.08	45~-55	14.40
30~35	11.64	30~35	7.56	30~35	8.43	45~50	11.78	45~50	8.20	55~60	12.22
35~40.15	2.98	35~40	11.77	35~40	7.13	50~55	12.35	50~55	11.54	60~-65	11.18
—	—	40~-45	11.95	40~45	12.03	55~60	5.89	55~60	11.33	65~70	8.73
—	—	45~50.88	3.98	45~-50	12.22	60~62.53	1.02	60~65	9.19	70~73.25	2.00
—	—	—	—	50~57.13	6.08	—	—	65~68.87	2.31	—	—
总计	79.47	—	79.47	—	79.47	—	79.47	—	79.47	—	79.47

总体看来,高温灾害强度呈现出“中心—外围扩散”分布模式,即以福建省的南平和永安为高温中心,依次向外围的江西省、浙江省、安徽省、上海市递减;到江苏省和山东省则出现明显的高温“低值”区域。具体 100 年一遇情景下,华东 7 省市高温强度分布在 0~73.25 d/a,且以 35~65 d/a 最为集中,空间面积为 52.24 万 km²(表 2),占整个区域面积的 65.74%,广泛分布于福建省、江西省和浙江省的交汇区域。50 年一遇情景下,华东地区高温强度分布在 0~68.87 d/a,出现两个数值—面积分布高峰,即 20~35 d/a 和 50~65 d/a,空间面积分别为 19.35 万 km² 和 32.06 万 km²,占区域面积的 24.35% 和 40.34%;前者分布在江苏北部和山东中部区域,后者分布于江西西部、浙江北部和福建南部。

20 年一遇情景下,华东地区高温强度分布在 0~62.53 d/a,数值—面积高峰分布在 20~30 d/a 和 45~55 d/a,面积分布为 17.96 万 km² 和 24.03 万 km²,占区域面积的 22.60% 和 30.24%;地域分布方面,前者山东东部和中部的广大区域,后者安徽、江西和浙江的交界区域。10 年一遇情景下,华东地区高温强度分布在 0~57.13 d/a,数值—面积高峰分布在 15~25 d/a 和 40~50 d/a 两个区间,面积分布为 21.76 万 km² 和 23.62 万 km²,占区域面积的 27.38% 和 29.72%;地域分布方面,前者山东东部的广大区域,后者安徽、江西和浙江的交界区域。2 年和 5 年一遇情景下,高温强度分别分布在 0~40.15 d/a 和 0~50.88 d/a,二者出现一个相同数值—面积高峰,即 10~20 d/a,面积分别为 21.22 万 km² 和 21.76 万 km²,空间分布均出现在安徽、江苏和山东交界区域,后者安徽面积更大。此外,5 年一遇高数值—面积高峰 35~45 d/a,面积为 23.72;2 年一遇高数值—

面积高峰 25~35 d/a,面积为 23.15 万 km²,前者空间分布在江西、福建和浙江的大部分区域,后者集中在江西、安徽交界区域。

2.3 高温危险性评价与区划

目前,国内外没有成熟的、统一的高温强度等级划分标准,国家气象局公布的《气象灾害预警信号及防御指南》^[15]中关于高温预警信号的规定如下:高温预警信号分三级,分别以黄色、橙色、红色表示。按照居民实际生活的一般感受,运用 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 年高温日数(d/a)指标,将高温灾害强度危险性划分为 6 级,分别为无危险性、较低危险性、低危险性、中危险性、较高危险性和高危险性(表 3),划分标准依次为年高温日数 ≤ 0 d/a、0 d/a~15 d/a(半月内)、15~30 d/a(一个月内)、30~45 d/a(一个半月内)、45~60 d/a(两个月内)、 ≥ 60 d/a(两个月以上),对应的危险信号颜色依次为白色、绿色、黄绿色、黄色、橘黄色和红色。运用 ArcGIS 重分类工具,计算得到 6 种典型重现期条件下(100 年、50 年、20 年、10 年、5 年和 2 年一遇)高温灾害危险性等级空间分布图(图 3)和不同高温危险等级的空间面积(表 4)。

总体来说,高危险等级分布在江西、福建和浙江交汇区域,低危险等级广泛分布在江苏、安徽和山东等地;随着重现期降低,高温危险等级逐渐降低,高危险区域面积逐渐减少。具体而言,100 年一遇情景下,较高和高危险区域广泛分布在江西中西部、福建中北部和浙江中西部的广大区域,面积达 38.65 万 km²,占区域面积的 61.21%(表 4)。低和较低危险区域面积较少,主要分布在江苏北部和山东东部区域。50 年一遇高温灾害较高危险区范围广大,面积比超过 50%,其空间分布类型与 100 年一遇情景相比,只是高危险区面积

3 结论与讨论

(1) 高温灾害危险性评价可以用 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的年高温天数(d/a)作为量化指标,通过定量标准对高温灾害危险性等级做出定性表述。高温危险性可以分为无危险性、较低危险性、低危险性、中危险性、较高危险性和高危险性6级,划分标准分别为年高温日数 ≤ 0 d/a、 $0 \sim 15$ d/a、 $15 \sim 30$ d/a、 $30 \sim 45$ d/a、 $45 \sim 60$ d/a、 ≥ 60 d/a,对应的危险信号颜色依次为白色、绿色、黄绿色、黄色、橘黄色和红色。

(2) 100年一遇情景下,华东7省市高温强度分布在 $0 \sim 73.25$ d/a,且以 $35 \sim 65$ d/a最为集中;50年一遇情景下,华东地区温强度分布在 $0 \sim 68.87$ d/a,出现两个数值—面积分布高峰,即 $20 \sim 35$ d/a和 $50 \sim 65$ d/a。高温灾害强度在空间上呈现出“中心—外围扩散”模式,即以福建省的南平和永安为高温中心,依次向外围的江西省、浙江省、安徽省、上海市递减;到江苏省和山东省则出现明显的高温“低值”区域。

(3) 高温高危险等级分布在江西、福建和浙江交汇区域,低危险等级广泛分布在江苏、安徽和山东等地;随着重现期降低,高温危险等级逐渐降低,高危险区域面积逐渐减少。100年一遇情景下,较高和高危险区域广泛分布在江西中西部、福建中北部和浙江中西部的广大区域,面积达 38.65 万 km^2 ;50年一遇情景,较高危险区范围广大,且形成两个危险中心。

高温危险性是灾害风险存在的自然背景条件,承灾体脆弱性是高温灾害风险产生的内在因素^[16]。通过进一步开展高温承灾体类型划分、承灾体空间分布和脆弱性指标选取与量化,确定高温灾害承灾体脆弱性数值和等级的空间分布,为估算高温灾害损失提供基础^[17]。

参考文献:

- [1] 王绍武,叶谨林. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 545 - 553.
- [2] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis [M]. Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al, Eds. Cambridge United Kingdom and New York, N Y, USA: Cambridge University Press, 2001: 881.
- [3] 丁一汇,张锦,宋亚芳. 天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系[J]. 气象, 2002, 28(3): 3 - 7.
- [4] 徐家良,柯晓新,周伟东. 长江三角洲城市地区近50年气候变化及其影响[M]//大气科学研究与应用. 北京:气象出版社, 2005: 10 - 30.
- [5] 林昕,管兆勇. 中国华东地区夏季高温的时空特征和年际变化[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 1 - 9.
- [6] 史军,丁一汇,崔林丽. 华东地区夏季高温期的气候特征及其变化规律[J]. 地理学报, 2008, 63(3): 237 - 245.
- [7] 史军,丁一汇,崔林丽. 华东极端高温气候特征及成因分析[J]. 大气科学, 2009, 33(2): 349 - 347.
- [8] 丁金才,周国良,周红妹. 上海城市高温灾害和气候成因的初步研究[J]. 大气科学研究与应用, 1998, 1: 138 - 144.
- [9] 丁金才,张志凯,奚红,等. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究[J]. 大气科学, 2002, 26(3): 412 - 420.
- [10] 贺芳芳,徐家良,周伟东,等. 上海地区高温期气象条件对用电影响的评估[J]. 高原气象, 2008, 27(12): 210 - 217.
- [11] 张尚印,张德宽,徐祥德,等. 长江中下游夏季高温灾害机理及预测[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(6): 840 - 846.
- [12] 张强,廖要明,陈峪,等. 2003年南方异常高温影响及分析[J]. 中国减灾, 2003(3): 19 - 21.
- [13] 徐金芳,邓振镛,陈敏. 中国高温热浪危害特征的研究综述[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 163 - 167.
- [14] 汤国安,杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社. 277, 363 - 428.
- [15] 中国气象局. 气象灾害预警信号及防御指南[M]. 北京:气象出版社, 2007: 5 - 7.
- [16] 陈见,李艳兰,高安宁,等. 广西高温灾害评估[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 24 - 27.
- [17] 钟利华,周绍毅,邓英姿,等. 广西今年高温干旱气象对电力供求的影响[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 81 - 84.

Risk Analysis on High-temperature Disasters in East China based on GIS

Zhang Shujuan¹, Yin Zhan'e¹, Liu Yaolong², Wen Jiahong¹,
Zhang Hua¹ and An Youzhi¹

(1. *Department of Geography, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;*

2. *School of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)*

Abstract: Based on basic ideas of risk analysis on high-temperature disasters, high temperature strength-frequency estimation is conducted by Pearson-III probability model. Assessment and zoning of the disasters in East China is carried out with ArcGIS statistical analysis and grid re-classification. The results show that the heat intensity in the 7 provinces and cities in East China distributed in 0 d/a ~ 73.25 d/a of a 100-year return period with the highest concentration of 35 d/a ~ 65 d/a. Spatially, high temperature intensity shows a center-periphery diffusion pattern as high temperature strength centers in Nanping and Yong'an in Fujian Province and declines gradually towards the periphery to Jiangsu and Shandong province. The distribution of high-risk level is in the intersection region of Jiangxi, Fujian and Zhejiang provinces and with low ones in Jiangsu, Anhui, Shandong and other provinces. With the reduction of return period, risk levels and high-risk areas decrease progressively.

Key words: GIS; high-temperature disaster; risk analysis; East China

+++++
(上接第 53 页)

The Possibility of Longyangxia Dam Break due to Earthquake and Its Flood Hazard

Gao Siru, Guo Anning, Wang Lanmin, Jiao Jiao and Li Xin

(*The Lanzhou Institute of Seismology, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: The possibility of a major earthquake in the area of the Longyangxia Reservoir in the future and eventual dam-collapse accompanying flood disaster are discussed. The maximum flow and rising and falling times of flood in Guide County, Kangyang Town, Jianzha County, Xunhua County and Lanzhou City in case of dam break are calculated.

Key words: Longyangxia Reservoir; fault; earthquake; dam collapse; flood