

基于复杂性测度的中国洪灾受灾面积变化研究

尹义星, 许有鹏, 陈 莹

(南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 采用复杂性测度方法来进行中国洪涝灾害受灾面积变化的研究。结果表明: (1) 20 世纪 80 90 年代中国洪灾受灾面积及其复杂度均持续上升, 说明洪灾剧烈, 而且复杂多变、不确定性增加; 进入 21 世纪, 两者趋缓或下降, 即中国洪涝灾害有所缓解; (2) 从分省区的结果来看, 洪灾受灾面积的未来趋势具有区域特征, 主要可划分为两个加剧的区域和两个减缓的区域; 全国各省市依据受灾面积趋势可划分为 4 个等级, 在此基础上给出中国的未来洪灾受灾面积趋势图。

关 键 词: 复杂性测度; 中国洪涝灾害; 受灾面积; 变化; 趋势

中图分类号: X43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2008)02-0241-06

中国洪涝灾害频发, 以其库存洪涝频率高、分布范围大、灾害程度重、经济损失大而成为最严重的灾害种类之一。20 世纪 80 年代以来, 中国的洪涝灾害发生频繁, 受灾面积上升迅速, 其中 1991、1998 及 2003 年的洪灾尤其严重。许多学者曾对中国洪涝灾害的变化规律及发展趋势进行了研究^[1-3]。当前, 全球变暖及人类活动的日益扩大, 使得洪涝灾害表现得更加复杂多变。加上洪涝灾害固有的复杂性, 对其刻画和描述十分困难, 而要对未来趋势做出预测更加不容易。

自然灾害所表现出的多样性、随机性、突发性以及无序性等复杂性的特点, 使简单的理论和手段已不适宜于伴随着人类经济活动的开展而日趋复杂化的自然灾害系统的研究^[4]。复杂性理论的引入, 为自然灾害的研究注入生机, 它将在自然灾害的研究中扮演重要角色。众多学者借助于复杂性理论的数学工具如分形理论、混沌理论、自组织理论、自组织临界性等, 来分析自然灾害的复杂性特征^[4-6]。复杂性测度具有计算方便、对时间序列长度等条件的要求相对较低等优点, 因而更具有实用价值, 是洪涝灾害研究领域中的新型工具。

研究者们一般都是采用洪灾的某个或某些灾情指标来分析洪灾的变化趋势, 我们提出用灾情的复杂度作为一个重要指标, 主要是基于这样的认

识: 首先, 复杂度高的时候洪灾变化复杂, 其可预测性降低, 洪灾风险加大; 其次, 在复杂度较高的情况下, 往往各年份之间的洪灾差别很大, 甚至会出现大旱年和大涝年交替发生的情况, 这样在人们缺乏充分准备的情况下, 突如其来的大洪灾会造成更大的损失。本文即借助于复杂性理论中的复杂性测度方法, 定量地刻画洪涝灾害受灾面积序列的复杂度, 建立了复杂度动态变化的时间序列, 结合年均受灾面积变化, 探讨中国 20 世纪 50 年代以来洪灾受灾面积的变化特征, 并对未来的趋势进行分析。

1 复杂性测度方法

复杂性测度的方法是用一个参数来表征动力系统的复杂程度。描述系统复杂性程度的量即复杂度, 关于复杂度的物理意义, 较普遍的看法是复杂度反映了时间序列随着序列长度的增加出现新模式的速率^[7]。可以认为出现新模式就是出现了新变化。一般情况, 复杂度越大说明时间序列就越无序和复杂; 反之, 复杂度越小就说明序列越是规则的, 规律性和周期性等就越强。迄今为止, 要找到复杂系统的通用测度还有困难。Lehrman 等^[8]和 Azad 等^[9]提出称为“符号熵”的复杂性测度。该方法不但可以有效地判断混沌伪随机序列的复杂度, 而且具有不涉及参数的选取、计算

收稿日期: 2007-03-18 修订日期: 2007-08-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40571025)、江苏省自然科学基金项目 (BK2006133)、高校博士点基金项目 (20060284019)、国家自然科学基金重点项目 (40730635)、水利部公益性行业科研专项经费项目 (20073121-24) 资助。

作者简介: 尹义星 (1974-), 男, 安徽和县人, 博士研究生, 主要从事洪涝灾害、水文水资源方面的研究。E-mail: yyxrosby@126.com

比近似熵方法简单、结果比近似熵方法更为可靠的特点^[10]。该方法简述如下：

给定了一个由 m 个符号组成的符号集 $\{S_0, S_1, \dots, S_{m-1}\}$ 和一个 $m+1$ 个临界点组成的集合 $\{C_0, C_1, \dots, C_m\}$, 可以用以下分割规则将时间序列 $\{X_1, X_2, X_3, \dots\}$ 转换为一个符号序列 $\{S(1), S(2), S(3), \dots\}$ 。

若 $C_k < X_j < C_{k+1}$, 则 $S(j) = S_k$ (1)
将所得符号序列 $\{S(1), S(2), S(3), \dots\}$ 分解成长度为 L 的短序列, 图 1 是 $L = 5$ 的分割。

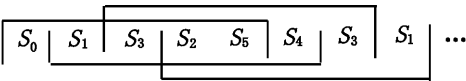


图 1 短序列分割示意图

Fig 1 The sketch map of cutting the sequence

这些短序列可以通过下式来标记：

$$l_i(L, i) = \sum_{n=1}^L m^{L-n} S(n+i) \quad (2)$$

其中, i 表示短序列沿着符号序列 $\{S(1), S(2), S(3), \dots\}$ 从第 i 个符号开始。为了方便, 将符号 S_k 用相应的整数 k 来代替。由 (2) 式可以看出, 每一个短序列都可以用整数集 $\{0, 1, 2, \dots, m^L - 1\}$ 中一个整数进行标记。用 l_i 表示特定短序列 l_i 出现的概率, 它可用短序列 l_i 在混沌符号序列 $\{S(1), S(2), S(3), \dots\}$ 中出现的次数除以所有短序列的总数来计算。包含在符号序列中的信息量可以用下式引入的符号熵来定量表示：

$$E = - \sum_{l_i} \frac{1}{L} P_{l_i} \ln P_{l_i} \quad (3)$$

洪涝灾害系统是一类混沌动力系统^[6], 即它具有混沌特征, 则洪涝灾害的灾情时间序列应当也具有混沌特征。因此, 符号熵这种复杂性测度适合于洪涝灾害的分析研究。

复杂度动态分析采用滑动窗口的方法: 从资料的第一个数据开始选取长度为 20 年的矩形窗口, 对窗口内的数据计算其复杂度, 然后窗口向后滑动一年, 得到另一组数据, 计算其复杂度。重复上述步骤直到全部数据的最后一个点。每个窗口计算得到的复杂度赋值给窗口最后一年, 将每个窗口内计算得到的复杂度依次连接, 即可建立复杂度的时间序列。平均受灾面积的时间序列的建立方法与此相类似。

2 数据和结果

我们选用中国 18 个省区 (为全国最主要的洪灾省区) 1950~ 2004 年的洪灾受灾面积数据; 另 13 个省市 1978~ 2004 年的洪灾受灾面积数据 (未包含港、澳、台在内)。数据来源主要包括: 历年中国统计年鉴, 相关省份的省志, 水利志、民政志、农业志等, 以及 安徽水旱灾害、山东水旱灾害、甘肃水旱灾害。考虑到历史上的隶属关系, 将海南省与广东省、重庆市与四川省的水灾数据合并计算。同时, 北京市与天津市的数据合并于河北省, 上海市的数据合并于江苏省。

图 2 图 3 中, 受灾面积 20 世纪有 50 60 与 80 90 年代两个高值阶段, 后一阶段又大于前一阶段, 70 年代是受灾面积低值阶段, 21 世纪初又开始下降。平均受灾面积则先下降, 至 80 年代后迅速上升, 大大超过前一阶段, 到 20 世纪末、21 世纪初上升趋势变缓。复杂度最初处于高值状态, 之后则下降; 出现两次大波动, 尤其在 80 年代后期至 90 年代, 复杂度上升速度非常快; 到 21 世纪初有所下降。

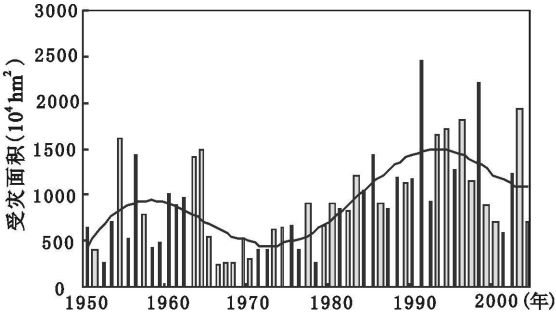


图 2 中国 1950~ 2004 年洪涝灾害历年受灾面积

Fig 2 The flood-affected area in China from 1950 to 2004

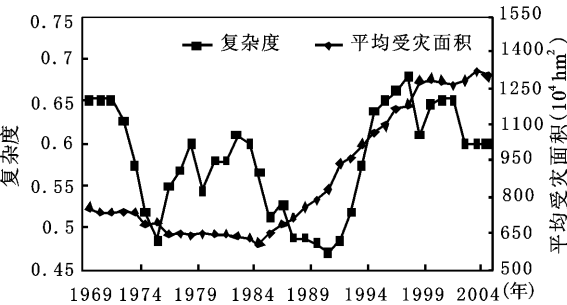


图 3 中国洪灾平均受灾面积及其复杂度的动态变化

Fig 3 The dynamic change of average flood-affected area and its complexity in China

对于数据从 1950~ 2004 年的 18 个省区, 50 年代以来的变化趋势是: 从洪灾平均受灾面积看, 大致分三类 (表 1)。从复杂度看, 其变化情况比受灾面积序列要复杂得多, 大致可分四类 (表 2)。

从全国各省市来看, 对于 20 世纪末以来的洪灾受灾面积变化, 我们发现一个有意义的现象: 受灾面积呈加大趋势的省区, 其复杂度一般也呈上升趋势或其数值较大; 而受灾面积下降的省区, 其

表 1 18 省区 1950~ 2004 年洪灾平均受灾面积变化
Table 1 The variation of average flood-affected area in 18 provinces from 1950 to 2004

受灾面积变化	省份
总体呈下降趋势	河北、河南、山东 (山东近年略有上升)
总体呈上升趋势	湖南、湖北、江西、广西、四川、贵州、甘肃、广东 (广东进入 21 世纪开始下降)
总体趋势: 降 - 升 - 降	江苏、安徽、浙江、吉林、黑龙江、陕西、福建 (福建仍保持上升)

表 2 18 省区 1950~ 2004 年洪灾受灾面积的复杂度变化

Table 2 The variation of flood-affected area complexity in 18 provinces from 1950 to 2004

复杂度变化	省份
降 - 升 - 降	安徽、浙江、陕西、河南、山东、黑龙江
降 - 升 - 降 - 升	福建、江西、广西、贵州、湖南
降 - 升 - 降 - 升 - 降	江苏、河北、吉林
其他	湖北、四川、甘肃、广东

复杂度也表现为下降的趋势或其数值较小。这种现象具有重要的意义, 即: 那些洪灾面积加大的省区面临的洪灾威胁更加严峻, 而对洪灾面积下降的省区则可能更加有利。对于两者的动态变化, 选取了较典型的省区 (图 4)。依据受灾面积及其复杂度的变化趋势, 结合受灾面积值的大小, 我们将全国各省市区的未来洪灾受灾面积趋势划分为 4 个等级。第一等级: 受灾面积较高, 且受灾面积及其复杂度均处于上升阶段, 这一类是未来洪灾威胁最大的地区。第二等级: 受灾面积较高, 但受灾面积及其复杂度都处于下降阶段, 这种地区的洪灾风险也较大。第三等级: 受灾面积较低, 但受灾面积及其复杂度均处于上升阶段。这一类地区的洪灾风险在增长, 应予以重视。第四等级: 受灾面积较小, 而且受灾面积及其复杂度均处于下降阶段, 这种情况是未来洪灾较轻的一种。其中有三个省份是比较特殊的: 山东省的受灾面积近年略呈上升趋势, 但是考虑到其复杂度下降而且受灾面积相对于 50、60 年代小得多, 因此也归入第四类。云南也有些特殊, 其受灾面积上升趋势明显, 而复杂度则变化趋势不明显, 将它划入第一类。山西省受灾面积趋势下降, 复杂度有所上升, 考虑到地区因素, 仍将其归入第四类 (图 5)。

3 讨 论

3.1 中国洪涝灾害受灾面积变化

20 世纪 80、90 年代是中国洪涝灾害最为严重的时期, 受灾面积上升迅速, 复杂度高。此时, 中国的洪灾受灾面积一方面总体上越来越大, 另一方面又表现出波动频繁的特点。在洪涝灾害损失连年增加的情况下, 洪涝灾害的复杂度增大, 使其不确定性和不可预测性增大, 防灾减灾任务加大。进入新世纪, 洪涝灾害有下降的趋势, 但因为受灾面积与复杂度均处于较高的水平, 仍不容乐观, 未来的变化方向尚难定论。

降水的年际变化异常是洪涝灾害发生变化的直接影响因子, 洪涝灾害的变化应当反映降水的变化。因此, 降水变化将反映在洪灾的复杂度变化上。中国夏季降水在 1965 年前后有一次明显的跃变; 同时在 70 年代末又发生了一次降水跃变^[11]。图 3 里中国洪灾受灾面积复杂度的动态变化中, 出现了两次大的波动, 这和中国降水的两次跃变恰好相对应, 而且我们发现在复杂度发生突变的年份恰好发生降水突变 (图中所显示的年份比降水突变年份推迟 10 年左右, 与我们将时段的复杂度值赋值给了滑动窗口的最后一年有关)。

灾害是由致灾因子、承灾体、孕灾环境综合作用形成的。在影响洪涝灾害大小的因素中, 作为致灾因子的降水、以及作为承灾体的人口、土地利用等起着至关重要的作用。根据文献 [12] 对近 50 年中国降水的研究, 认为全国年总降水量呈较弱的减少趋势。因此中国 20 世纪末受灾面积的增加并不是由于降水量的增加而造成的, 它一方面是由于人类活动的影响, 另一方面可能是降水在时间和空间分布上的变化而造成的。降水在时间和空间上

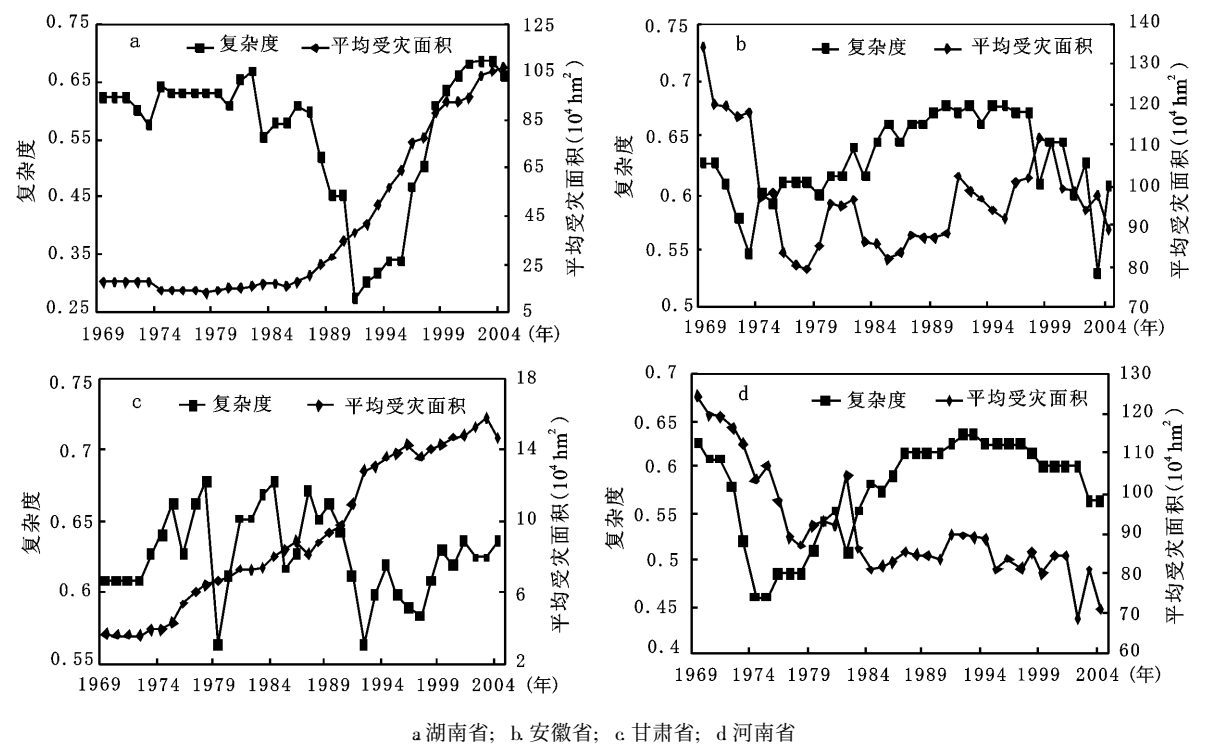


图 4 典型省份洪灾平均受灾面积及其复杂度的动态变化

Fig 4 The dynamic change of average flood-affected area and its complexity in typical provinces

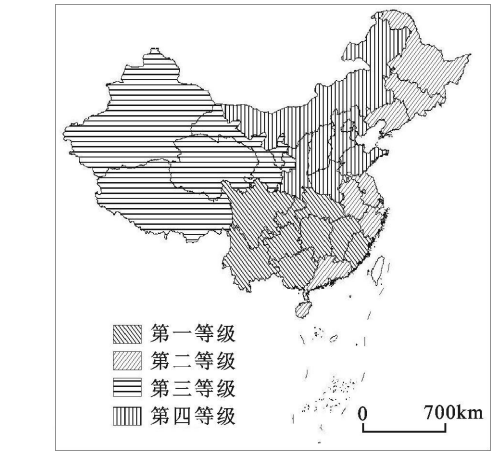


图 5 中国洪涝灾害受灾面积未来趋势图

Fig 5 The map of the flood-affected area trend in the future in China

的不均匀性与洪涝灾害是紧密联系的,影响洪涝的发生频率和强度。如果不考虑降水变化的作用,就很难解释 21 世纪初中国洪灾减缓的事实。因此,

21 世纪洪灾趋缓的现象,可能是降水变化的周期性所带来的洪涝灾害的波动。

3 2 洪涝灾害受灾面积地区趋势

未来中国洪灾受灾面积加剧的地区有两个:一是南方长江以南地区,另一个是西部地区,尤其是西北。减缓的主要地区是北方的华北、东北和长江下游的安徽、江苏、浙江和上海。此外,广东与海南在新的世纪洪灾受灾面积也有所趋缓,这与文献 [13] 的结论一致。

图 5 中显示的中国洪灾受灾面积未来趋势主要有两个特点:第一,证实了中国近年旱涝分布大势的“南涝北旱”特征^[14~ 24]。这种分布是受 20 世纪 50 年代以来主要多雨区的变化影响的,表 3 反映多雨区南移的特征。北方地区各省区的洪灾趋势减弱,可以看作华北、东北的干旱化的一种表现。对于长江下游的几个省份,其洪灾受灾面积趋势与上中游相比有所差别,其中的原因有待于进一步的研究。

表 3 20 世纪后半叶各年代降水距平百分率主要多雨区^[14]

Table 3 The maximum precipitation regions according to precipitation anomaly percentage since 1950s (After Sun, 2003)					
年代	50	60	70	80	90
主要多雨区位置	华北中北部	华北中南部	黄河下游	江淮至长江中下游	江南北部
纬度 (N)	40	38	36	31	28

其次,中国胡焕庸线以西地区的洪灾受灾面积有所上升。胡焕庸线是中国人口分布的重要分界线,有学者发现全国的洪涝灾害主要分布在胡焕庸线以东^[25-26]。这一方面反映人类活动对洪灾的加剧作用,另一方面也是受中国降水量从东南向西北递减的影响。有学者研究^[27]认为,中国西北部与华北、东北一样干旱化加剧,而我们的研究显示,西北的东部同时出现洪灾受灾面积加剧的现象。新疆、甘肃、青海、宁夏等省区的洪灾加剧,一方面,是由于西北地区对气候变暖的响应比较明显,气温升高而造成冰川消融增加,引起冰川洪水多发;另一方面,也是对西北地区降水量增加的一种响应,据文献[12]的结果,50年来西北大部分地区年降水量具有增长的趋势,大约每10年增长10%~20%。

4 结 语

复杂性测度方法通过较简单的计算,得出定量的指标来描述洪涝灾害灾情序列的复杂性,在洪灾受灾面积变化与趋势的研究中具有重要的作用。洪涝灾害的复杂性体现了它是短期可预报性和长期不可预测性的辨证统一,对其复杂度的研究将有助于我们深刻地认识洪涝灾害的规律。

参考文献:

[1] 施雅风. 全球变暖影响下中国自然灾害的发展趋势 [J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 102~116

[2] Chen J Q, Shi N. The preliminary study on possible scenarios of flood and drought in China in the case of global warming [J]. Chinese Geographical Science, 1996, 6(2): 145~154

[3] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 建国以来中国洪涝灾害成灾面积变化的小波分析 [J]. 地理科学, 2005, 25(1): 43~48

[4] 魏一鸣. 自然灾害复杂性研究 [J]. 地理科学, 1998, 18(1): 25~31.

[5] 朱晓华, 蔡运龙. 中国自然灾害灾情统计与自组织临界性特征 [J]. 地理科学, 2004, 24(3): 264~269.

[6] Zhou Y K, Ma Z Y, Wang L C. Chaotic dynamics of the flood series in the Huaihe River Basin for the last 500 years [J]. Journal of Hydrology, 2002, 258(1-4): 100~110

[7] 古华光, 任维, 陆启韶, 等. 复杂度在立位期间心率变异分析中的应用 [J]. 航天医学与医学工程, 2001, 14(3): 192~195

[8] Lehman M, Rechester A B, White R B. Symbolic analysis of chaotic signals and turbulent fluctuations [J]. Physical Review Letters, 1997, 78(1): 54~57

[9] Azad R K, Rao J S, Ramaswamy R. Information-entropic analysis of chaotic time series: determination of time delays and dynamical coupling [J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2002, (14): 633~641

[10] 肖方红, 阎桂荣, 韩宇航. 混沌伪随机序列复杂度分析的符号动力学方法 [J]. 物理学报, 2004, 53(9): 2877~2880.

[11] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势 [J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465~476

[12] Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. Journal of Climate, 2005, 18(7): 1096~1108

[13] Xue J B, Zhou W, Zhen Z G, et al. Dry-wet evolution in Guangdong Province during last 500 years [J]. Chinese Geographical Science, 2006, 16(1): 63~69

[14] 孙林海, 陈兴芳. 南涝北旱的年代气候特点和形成条件 [J]. 应用气象学报, 2003, 14(6): 641~647.

[15] 李加林, 王艳红, 张忍顺, 等. 海平面上升的灾害效应研究——以江苏沿海低地为例 [J]. 地理科学, 2006, 26(1): 87~93

[16] 吴江滢, 邵晓华, 汪永进. 南京年纹层石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的冰期气候事件特征 [J]. 地理科学, 2007, 27(1): 75~80.

[17] 谢远云, 李长安, 王秋良, 等. 江汉平原近3000年来古洪水事件的沉积记录 [J]. 地理科学, 2007, 27(1): 81~84

[18] 程江, 杨凯, 赵军, 等. 上海中心城区河流水系百年变化及影响因素分析 [J]. 地理科学, 2007, 27(1): 85~91

[19] 赵景波, 蔡晓薇, 王长燕. 西安高陵渭河近120年来的洪水演变 [J]. 地理科学, 2007, 27(3): 225~230.

[20] 刘晓清, 赵景波, 于学峰. 清代泾河中游地区洪涝灾害研究 [J]. 地理科学, 2007, 27(3): 445~448

[21] 何慧, 覃志年, 庞芳, 等. 邕江洪水的特征及其气候成因研究 [J]. 地理科学, 2007, 27(4): 506~511

[22] 刘贤赵, 李嘉竹, 宿庆, 等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究 [J]. 地理科学, 2007, 27(6): 791~795

[23] 袁淑杰, 缪启龙, 谷晓平, 等. 中国云贵高原喀斯特地区春旱特征分析 [J]. 地理科学, 2007, 27(6): 796~800

[24] 李红军, 江志红, 魏文寿. 近40年来塔里木河流域旱涝的气候变化 [J]. 地理科学, 2007, 27(6): 801~807

[25] 王铮, 彭涛, 魏光辉, 等. 近40年来中国自然灾害的时空统计特征 [J]. 自然灾害学报, 1994, 3(2): 16~21.

[26] 王静爱, 王瑛, 黄晓霞, 等. 18世纪中叶以来不同时段的中国水灾格局 [J]. 自然灾害学报, 2001, 10(1): 1~7

[27] 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): 2429~2439.

Analysis of Variation of Flood-affected Area in
China Based on Complexity Measurement

YIN Yi-Xing XU You-Peng CHEN Ying

(School of Geographic and Oceanographic Sciences Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093)

Abstract China is a country with large flood-prone area, thus the research on flood is of great significance. The theory of complexity has provided completely new method for the research on the complex system of flood disaster. To detect the tendency in the future, we apply themethod of information entropy to analyze the flood-affected area variation by using the flood disaster data of the whole country and 31 provinces, municipalities and autonomous regions. The results are as follows. The average flood-affected area and its complexity increased very fast in the 1980s and 1990s of the 20th century, so that flood disaster was more changeable and its uncertainty increased. However, entering the 21st century, both of them relieved or decreased slightly. As for the provinces, the paper discovers the regional character of future's trend of flood-affected area. The whole country may be classified into two flood intensified regions and two flood alleviated regions. The paper classifies the provinces of the whole country into four ranks according to the flood area tendency, and a map of future's tendency of flood disaster area is given at the end.

Key words complexity measurement, flood disaster in China, affected area, variation, tendency