

鄱阳湖区洪灾风险与农户脆弱性分析

马定国^{1,2,3}, 刘影³, 陈洁³, 郑林³, 张文江^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3. 江西师范大学地理与环境学院, 南昌 330022)

摘要: 运用 1:5 万 DEM 地形数据对鄱阳湖区洪涝灾害风险区区域范围及空间分布进行了分析。在此基础上, 以乡镇为基本研究单元, 选取乡村人口比重、耕地面积比重为洪灾风险暴露分析指标, 选取单位面积生产总值、农民人均纯收入、第一产业从业人员比重、农业收入占农村经济总收入比重等为农户洪灾应对能力分析指标, 并引入了不同洪水水位特征值的影响系数, 对鄱阳湖区农户洪灾脆弱性程度进行了定量研究。结果表明, 鄱阳湖洪灾风险区面积广、影响深, 农户对洪涝灾害总体上存在着较高的脆弱性; 在所涉及的 180 个乡镇中, 农户脆弱度高于平均值的有 100 个, 占到乡镇数 55.56%。脆弱度最高的乡镇主要集中在滨湖地带及五河干流沿岸地区, 而脆弱度较低的乡镇则主要分布在湖区各县城关镇所在区域。

关键词: 洪涝灾害; 农户; 脆弱性分析; 鄱阳湖区

1 引言

我国主要江、河中下游地区是人口、社会、经济要素比较密集的地区, 同时也是洪涝灾害发生最为频繁、洪灾损失最为严重的地区^[1-3]。进入 20 世纪以来, 伴随着人类活动的增强和社会经济的发展, 洪涝灾害的频率和强度呈日益增加趋势, 严重威胁着洪泛区居民的生命财产安全和生计安全, 制约着区域经济社会的可持续发展^[4-6]。如何减少洪灾易发区、多发区的灾害损失, 谋求协调、稳定的洪水与社会经济系统之间的良性关系, 一直是国家洪灾管理战略锁定的目标, 也是灾害研究与管理工作者努力的方向。

20 世纪 80 年代以来, 人类自身系统存在的脆弱性在灾害形成过程中的作用开始受到国际灾害学界的广泛关注, 灾害被认为是地球表面孕灾环境、致灾因子和承灾体自身脆弱性综合作用的结果^[7-10]。承灾体的脆弱性强调的是系统或群体对外界环境变化的敏感性, 面临灾害(风险暴露 exposure)的同时缺乏应对能力^[11-13]。就某一区域而言, 孕灾环境是灾害形成的背景, 致灾因子是灾害发生的前提, 承灾体脆弱性则是灾害大小的根源, 在同一致灾强度下, 灾情随脆弱性的增加而扩大^[8, 14-16]。国外关于灾害脆弱性的研究主要围绕着脆弱性分析框架的建立^[7, 17-19]、全球环境变化尤其是气候变化下的社会脆弱性^[20-28]、发展中国家因灾害或风险带来的日常生活及食物安全脆弱性^[29-35]等方面而展开, 侧重于脆弱性概念框架的分析与探讨; 国内研究始于 20 世纪 90 年代, 在研究区域灾害脆弱性成因分析的基础上, 致力于承灾体脆弱性评价指标体系构建和定量模拟^[8, 10, 16, 36-44], 也针对全球气候变化, 开展了国家层面的农业及水资源脆弱性等方面的研究^[45-47]。由于对成灾的致灾因子及孕灾环境目前只能从成因或机理方面加以认识和了解, 而难以改变其发生的过

收稿日期: 2006-08-23; 修订日期: 2006-12-21

基金项目: 鄱阳湖生态环境与资源研究教育部重点实验室开放基金项目(PK 2004017); 国家自然科学基金项目(40561011) [Foundation: Key Laboratory of Poyang Lake Ecological Environment and Resource Development, No.PK2004017; National Natural Science Foundation of China, No.40561011]

作者简介: 马定国 (1960-), 男, 副教授, 中国地理学会会员, 主要从事人口地理与区域发展研究。

E-mail: dgm600@sina.com

程, 无法减少其风险性, 因此, 降低承灾体的脆弱性就成为防灾减灾的主要途径^[16, 38, 42]。

农户是洪灾风险中的主要脆弱群体, 本文以江西省鄱阳湖区为研究区域, 以湖区农户为研究对象, 在洪涝灾害风险分析的基础上, 探讨湖区农户的脆弱性表现及其空间分异特征, 诊断湖区洪灾过程中的脆弱群体, 以期对鄱阳湖区防灾、减灾、救灾工作提供科学依据, 为承灾体脆弱性理论研究提供新的案例。

2 研究区域、资料获取与研究方法

2.1 研究区概况

鄱阳湖位于江西省北部、长江中下游交界处南岸, 是我国最大的淡水湖泊, 亚洲最大的生态湿地, 又是长江中下游极为重要的洪水调蓄区^[48, 49]。该湖属吞吐型、季节性浅淡水湖泊, 上承赣江、抚河、信江、饶河、修河五河之水, 调蓄后经湖口注入长江; 受五河和长江的双重作用, 湖泊形态在年内洪、枯水季节差异悬殊, 形成“高水是湖, 低水似河”、“洪水一片, 枯水一线”的独特景观(图1)。当湖口站水位升至历史最高 22.59 m (1998 年) 时, 湖面面积为 4070 km², 相应的湖体容积为 320×10⁸ m³; 当降至历史最低 5.90 m (1963 年) 时, 湖面面积仅有 146 km², 湖体容积仅 4.5×10⁸ m³^[49, 50]。

本研究中的鄱阳湖区指鄱阳湖水域、湖洲滩地所隶属的行政区域, 地理坐标北纬 28°11′~29°51′, 东经 115°31′~117°06′, 年平均气温 16.5~17.8 °C, 年平均降水量 1570 mm, 4~6 月约占全年降水量的 50%^[50]。湖区地势低平, 四周山丘环绕, 构成以鄱阳湖为中心, 山、丘、岗、平原相间的环状地貌, 于九江、湖口间向北开敞。本区包括南昌市区、南昌县、新建县、进贤县、余干县、鄱阳县、九江市市区、湖口县、都昌县、星子县、德安县、永修县等 12 个县市, 面积 20 970 km², 占江西省总面积的 12.56%, 是全省主要商品粮、棉、油、鱼生产基地, 也是我国重要商品粮基地之一。然而, 除南昌市区和九江市市区外, 这里又是江西省主要贫困地区之一, 2004 年湖区 10 县人口占全省 15.08%, 而 GDP 和地方财政收入分别只占到全省的 8.76% 和 6.86%。

2.2 数据来源

本文所涉及的资料数据主要有: ① 基本图件有鄱阳湖区 1:5 万数字高程模型 (DEM)、乡镇界线行政图; ② 耕地面积资料来自 2005 年鄱阳湖区土地利用 TM 影像解译数据; ③ 湖区部分水文站点 1949~2001 年的水位资料数据, 来源于鄱阳湖生态环境与资

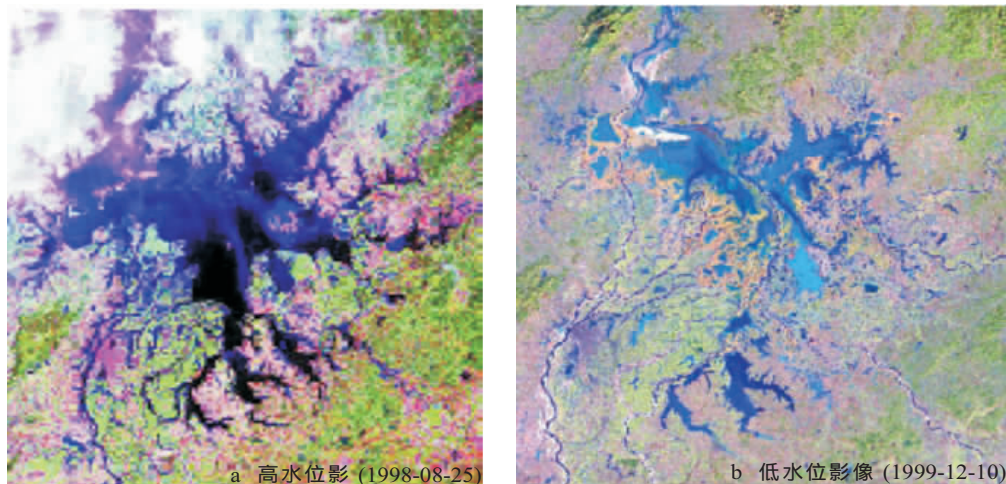


图 1 鄱阳湖水位与湖面变化

Fig. 1 Comparison of different water levels in Poyang Lake

源研究教育部重点实验室；④ 湖区各乡镇 2004 年主要社会经济指标，来源于在 12 市县实地调研中所获取的各市区《乡、建制镇基本情况》和《农村合作经济统计报表》以及其它相关的统计资料。

2.3 研究方法

本文研究的基本思路是在 ArcGIS 环境下，利用鄱阳湖区各项空间属性数据对湖区洪灾风险及农户脆弱性进行分析，其步骤流程如图 2 所示。

(1) 空间分析环境的构建 以湖区各乡镇作为基本统计单元，建立各乡镇的空间数据库，并与 DEM 地形数据进行投影、图像配准，为各项研究指标提供空间分析运算的背景。

(2) 指标的选取 水位变化是鄱阳湖区洪灾风险与农户脆弱性分析的基础，其他自然要素的作用和影响最终均归结于洪水水位的高低程度。本文洪水水位以湖口站 18.50 m、20.50 m、21.68 m 和 22.59 m 等 4 个特征值为参考指标，根据鄱阳湖区“退田还湖”政策，18.50 m 为双退圩堤进洪水位，20.50 m、21.68 m 分别为万亩以下和万亩以上单退圩堤进洪水位，而 22.59 m 是历史最高洪水水位 (1998 年)^①。根据脆弱性概念的理解，针对鄱阳湖区区域特征和资料获取的可行性，选取乡村人口比重、耕地面积比重为风险暴露分析指标，选取单位面积生产总值、第一产业从业人员比重、农民人均纯收入、农业收入占农村经济总收入比重等为农户洪灾应对能力分析指标。

(3) 空间数据的归一化 为真实地反映指标值之间的关系及其差异性，并使各指标与脆弱性均成正相关，应用如下归一化法对各指标的初始值进行标准化处理，即：对于正相关指标，令

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \times m, \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$$

(1)

对于负相关指标，令

$$x'_{ij} = \max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} + \min_{1 \leq i \leq m} x_{ij} - x_{ij}, \text{ 则}$$
$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \times m, \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$$

(2)

式中： y_{ij} 为归一化指标值， x_{ij} 为初始指标值， m 为研究单元数， n 为指标个数。

(4) 脆弱度计算 本文采用矢量和法计算各研究单元的农户脆弱性程度，并对所选水位特征值从低到高分别赋予 1.00、0.95、0.90 和 0.80 的影响系数参与单元农户脆弱度计算，最高洪水水位以上的地区认为不受洪水威胁，影响系数赋值为 0。应用 GIS 软件的处理模块获取不同水位高程下的乡镇代码。各研究单元农户脆弱性的计算公式为：

① 湖口站警戒水位、5 年、10 年、20 年一遇的洪水水位分别是 18.50 m、20.50 m、21.70 m 和 22.50 m (均为吴淞高程，水位值不考虑溃口、分洪情况。)

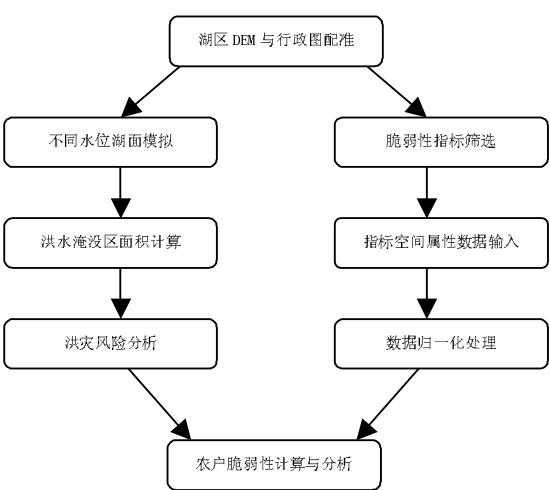


图 2 研究方法技术流程
Fig. 2 Conceptual framework of the study

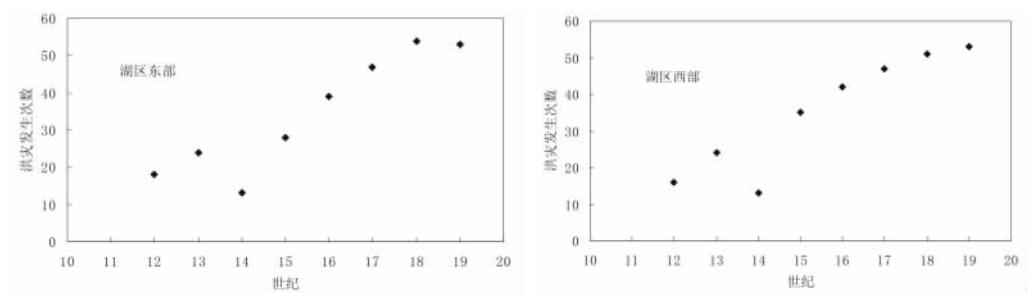


图 3 鄱阳湖区历史时期洪灾数量变化趋势图
Fig. 3 Flood trends in the Poyang Lake Region (PLR) since the 12th century

$$V_i = \sqrt{k \sum_{j=1}^6 y_{ij}^2} \tag{3}$$

式中： V_i 为第 i 个研究单元的农户脆弱性值，值越大则越脆弱； y_{ij} 为第 i 个研究单元第 j 个指标归一化值， k 为洪水水位影响系数，根据研究单元所处高程位置而赋值。

3 鄱阳湖区洪涝灾害风险分析

3.1 洪灾频发的历史与现状

鄱阳湖区历来就是我国洪涝灾害最为频繁的地区之一，从 12~19 世纪，湖区洪灾发生频次呈总体上升趋势 (图 3)。进入 20 世纪以来，湖区洪灾平均 2.7 年一次，且洪水水位不断创历史新高，高水位频次明显增加，1954 年、1983 年、1995 年、1998 年湖口最高洪水水位分别为 21.68 m、21.71 m、21.80 m 和 22.59 m^[51]，在 20 世纪的后 50 年中，湖口站水位超过 21 m 的年份，前 40 年间仅出现 2 次，而后 10 年间就出现了 4 次。显然，洪灾风险日趋严峻。

3.2 洪灾风险的原因阐释

3.2.1 气象水文特征是决定洪灾频发的前提条件 一般年份，鄱阳湖水系 4~7 月进入汛期，五河洪水入湖，湖水水位上升，每年最大入湖流量出现在 4~6 月的概率为 84.2%^[49]；长江的主汛期则出现在 7~9 月，鄱阳湖水位受长江洪水顶托而迅速抬升，且长时间维持在高水位，湖区年最高水位及洪涝灾害主要发生在这一时期 (表 1)。显然，鄱阳湖水位涨落主要受五河和长江来水的双重作用，季节变幅巨大，成为导致湖区洪涝灾害频繁的主要原因。

3.2.2 人类活动是引发洪灾强度加剧的活跃因素 鄱阳湖区是江西省经济开发最早的地区，人口稠密。2004 年湖区人口密度为 433 人 /km²，比全省平均数超出 176 人；人均耕地面积仅 0.06 hm² (不含南昌市区和九江市市区)，人多地少矛盾突出。

(1) 围湖造田、与水争地使湖泊面积和容积大幅缩减，洪水调蓄功能严重衰退，洪水水位升高，水情恶化，湖区洪涝灾害加剧。围垦江河湖洲滩地是滨湖地区居民拓展生存空间、开发利用土地资源的主要方式之一。20 世纪 50~60 年代，湖区大面积围垦达到高潮，至 80 年代以后，大规模围垦活动才基本得到控制，这时

表 1 1949~2001 年鄱阳湖部分水文站点年最高水位
时间分布及概率

Tab. 1 Monthly variation and frequencies of annual maximum water levels recorded at some hydrologic stations in the PLR from 1949 to2001				
站名	统计年限 (年)	最高水位频次		
		出现时间 (月)	出现次数 (次)	概率 (%)
湖口	1949~2001	7~9	43	81.13
星子	1951~2001	7~9	38	74.51
都昌	1952~2001	7~9	38	76.00
吴城	1953~2001	7~9	37	75.51
棠荫	1962~2001	7~9	33	82.50

资料来源：鄱阳湖生态环境与资源研究教育部重点实验室。

湖区累计围垦总面积已达 1466.9 km² (表 2), 湖泊容积损失高达 80×10⁸ m³ 以上, 相当于 90 年代末湖泊容积的 53%^[48, 51]。

(2) 乱砍滥伐、毁林开荒使流域内森林植被遭受严重破坏, 水土流失加剧, 江河湖库淤塞, 河床抬高, 行蓄洪能力大为降低。20 世纪 50~80 年代, 江西省荒山荒坡面积由 81.89×10⁴ hm² 增加到 285.40×10⁴ hm²。直接后果是一方面使得地表径流汇集加快, 引发江河洪峰快速形成, 上游洪水来量增大; 另一方面使流域内水土流失程度加剧, 五河流域中上游及鄱阳湖滨湖地区是我国南方水土流失最严重的地区之一, 水土流失面积达 336.12×10⁴ hm²^[51]。

3.3 洪灾风险的空间分布特征

洪水只有出现在有人类居住的地区, 给人们生命财产和经济活动带来危害和损失时, 才会成为灾害, 这些地区构成了洪灾风险区。以湖口站不同水位特征值为参照, 利用鄱阳湖周边 12 个水位站在同一时点的水位观测数据, 对湖面作插值模拟, 并在 ArcGIS 环境下与湖区 DEM 叠加生成不同洪水位 (吴淞高程) 鄱阳湖区洪灾风险分布图 (图 4)。鄱阳湖洪灾风险区在空间上主要分布在湖滨地带以及赣、抚、信、饶、修等入湖水系沿岸。图 4 是在没有圩堤等防洪工程设施保护下的湖区洪水淹没情景, 洪灾风险区不一定就是受灾区。实际上, 由于受到圩堤的保护, 南昌市区和九江市市区等重点城市和地区才免于遭受频发的洪涝灾害冲击和破坏。

运用 ArcGIS 下的栅格代数运算, 得到不同水位高程下鄱阳湖洪灾风险区的估算面积 (表 3), 其中, 18.50 m 以下的区域占到洪灾风险区的 74.12%, 20.50 m 以下的区域占 87.62%, 说明研究区域整体上对洪水的敏感性和易灾性程度比较高。不过湖区内五河同时发生大洪水的年份并不多, 洪灾发生区主要随降雨中心位置和范围而定。

4 洪灾风险区农户脆弱性分析

鄱阳湖区农户对洪涝灾害的脆弱性一方面表现在他们的生命财产及生计在洪水过程中所受到的威胁和冲击, 另一方面表现在他们灾后的恢复能力, 从地区发展潜力及维护并提高农户生活质量的角度来看, 后者尤应引起重视。洪灾风

表 2 20 世纪各年代鄱阳湖围垦情况(单位: km²)
Tab. 2 Inning situation in the PLR during the 20th century (unit: km²)

年代	50	60	70	80
围垦面积	394.9	793.4	211.7	66.9
累计围垦面积	394.9	1188.3	1400.0	1466.9

资料来源: 文献[51]。

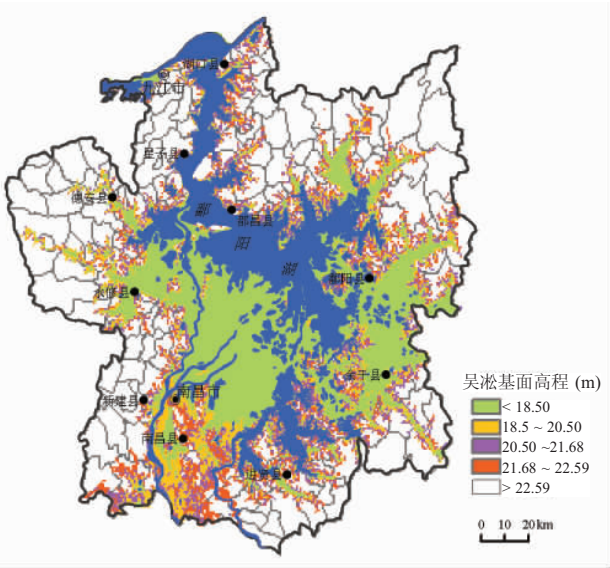


图 4 鄱阳湖区洪灾风险分布图

Fig. 4 The distribution of flood risk areas in the PLR

表 3 鄱阳湖洪灾风险区 (不含水域) 高程分布
Tab. 3 The proportion of flood risk areas at different elevations in the PLR

吴淞基面高程 (m)	< 18.50	18.50~20.50	20.50~21.68	21.68~22.59	总计
面积 (km ²)	5270	960	510	370	7110
比重 (%)	74.12	13.50	7.18	5.20	100
涉及街道乡镇 (个)	200	7	7	9	223

险区的农户脆弱性实质就是湖区农户在洪灾面前所表现出的社会经济脆弱性。由于区域性质及统计口径的原因,同时考虑到洪水淹没范围,本文只对湖区 10 县 1 区(九江市庐山区)洪灾风险区域内 185 个乡镇单元的农户进行洪灾脆弱性分析,其中 5 个乡镇场缺数据,实际涉及的乡镇为 180 个。

4.1 单项指标的脆弱性诊断

各单项指标要素从不同侧面反映了鄱阳湖区农户的洪灾脆弱性程度,本文直接采用各要素 2004 年的统计数据及 2005 年土地利用数据对不同研究单元进行比较研究,以寻求它们所反映的农户脆弱群体在鄱阳湖区的空间分布状况。应用 ArcGIS 软件建立各要素的空间属性表,生成湖区洪灾脆弱性单要素空间分布图(图 5)。

4.1.1 风险暴露分析 在鄱阳湖区,受洪涝灾害威胁和影响的居民及其财产是风险暴露程度的主体,暴露程度越高表明受到洪灾冲击的可能性越大,所表现出来的脆弱性就越强。各研究单元内的乡村人口及耕地面积比重是分析农户风险暴露状况的重要因素。

(1) 乡村人口比重 乡村人口是洪涝灾害过程中的主要受灾群体,乡村人口比重越高,农户的洪灾脆弱性就越强。鄱阳湖区各研究单元乡村人口比重很高(表 4),平均达 78.28%左右。在 180 个乡镇中,比重超过 80%的达 138 个,拥有乡村人口约 376×10^4 人,占研究区内乡村人口总数的 79.66%;比重超过 90%的乡镇有 93 个,相应的乡村人口数及其比重分别为 256×10^4 人和 54.24%。从空间格局上看(图 5a),湖区东部乡村人口比重显然高于西部,北部高于南部。如此高比重的人口束缚于农村地区,结果是农户的生产及生活饱受洪涝灾害的威胁和侵袭。

表 4 鄱阳湖区各研究单元风险暴露指标等级分布情况

Tab. 4 Grade distribution of exposure variables of concern in the PLR

乡村人口比重			耕地面积比重		
%	乡村人口 (10^4 人)	乡镇数 (个)	%	耕地面积 (10^4 hm^2)	乡镇数 (个)
> 90	256	93	> 60	12	25
80~90	120	45	50~60	14	35
70~80	50	18	40~50	15	39
50~70	28	13	30~40	15	43
< 50	18	11	< 30	9	38

注: 人口数据为 2004 年统计,耕地面积是 2005 年统计

村人口总数的 79.66%;比重超过 90%的乡镇有 93 个,相应的乡村人口数及其比重分别为 256×10^4 人和 54.24%。从空间格局上看(图 5a),湖区东部乡村人口比重显然高于西部,北部高于南部。如此高比重的人口束缚于农村地区,结果是农户的生产及生活饱受洪涝灾害的威胁和侵袭。

(2) 耕地面积比重 湖区因地势低平,在洪水过程中,易造成大片耕地受淹,农作物减产甚至绝收。一般来说,耕地比重越高的地区,受到洪涝灾害风险的威胁就越大,农户对洪灾的脆弱性也就越强。鄱阳湖研究区内总的耕地面积比重约为 37.45%,其中,比重高于 40%的乡镇有 99 个(表 4),有耕地面积约 $41 \times 10^4 \text{ hm}^2$,集中了区内 63.08%的耕地,反映多数乡镇依附于耕地的农户有着较强的洪灾脆弱性;高于 60%的乡镇有 25 个,主要分布在南部和西部地区(图 5b)。

4.1.2 应对能力分析 鄱阳湖区农户应对洪涝灾害能力的大小是衡量其脆弱性强弱的关键,又与社会经济发展水平及潜力直接相关,因此,利用湖区各研究单元的社会经济指标进行分析比较,能够有效地认识各研究单元农户的应对能力与相应脆弱性水平及其空间分异。

(1) 单位面积 GDP 在同一洪灾等级下,经济比较发达、生产总值较高的地区往往能够有效地调动各种资源来规避或抵御洪灾风险,虽然这些地区在洪灾中所遭受的财产等经济损失可能会高于落后地区,但损失率一般较低,承灾能力较强,并能实现灾后的迅速恢复;而落后地区在洪灾面前则显得回应乏术,一次洪灾往往就会给生产和生计带来重创,且灾后恢复缓慢。可以说,单位面积生产总值越高的地区,农户洪灾脆弱性就越低。鄱阳湖区 180 个乡镇平均单位面积 GDP 约为 171×10^4 元/ km^2 ,总体水平不高,超过 200×10^4 元/ km^2 的乡镇只有 47 个(表 5),它们却集中了研究区内 GDP 的 65.92%,而其他 133 个乡镇平均单位面积 GDP 不足 $75 \times 10^4/\text{km}^2$,说明多数乡镇洪涝灾害的应对能力

比较薄弱。从图 5c 看，湖区南部和西部地区 GDP 水平相对较高。

(2) 农民人均纯收入 该指标既反映了研究单元农村经济的总体发展水平，也反映

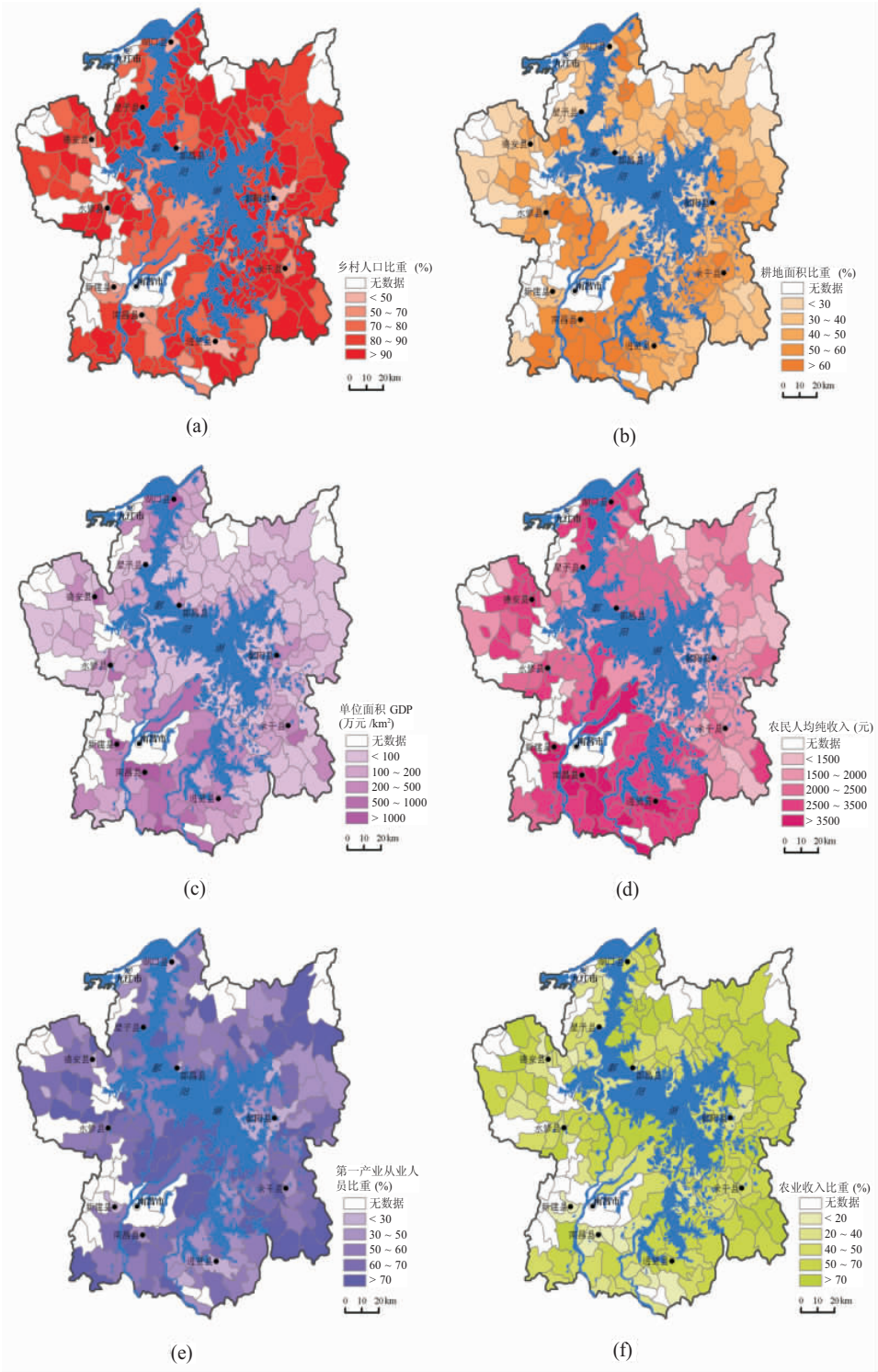


图 5 鄱阳湖区单项要素空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution of major variables in the PLR

表 5 2004 年鄱阳湖区各研究单元主要社会经济指标等级分布情况

Tab. 5 Grade distribution of major socioeconomic variables of study units in the PLR (2004)

单位面积 GDP		农民人均纯收入		一产从业人员比重		农业收入比重	
万元/km ²	乡镇数 (个)	元	乡镇数 (个)	%	乡镇数 (个)	%	乡镇数 (个)
< 100	73	< 1500	20	< 30	10	< 20	14
100~200	60	1500~2000	48	30~50	35	20~40	28
200~500	30	2000~2500	42	50~60	49	40~50	40
500~1000	10	2500~3500	54	60~70	42	50~70	59
> 1000	7	> 3500	16	> 70	44	> 70	39

了农村居民的整体生活状况。农民人均纯收入高的地区，农村经济比较繁荣，农民生活富庶，应对洪灾的能力较强，脆弱性相对较弱；反之，农民人均纯收入越低，则农民生活越贫困，越贫困者越脆弱。鄱阳湖研究区内 2004 年农民人均纯收入仅为 2330 元；在 180 个乡镇中，低于这一收入水平的乡镇达 105 个 (表 5)，其农民人均纯收入不足 1800 元。湖区农户的总体收入水平低，是洪涝灾害中脆弱性的重要表现。在空间上 (图 5d)，农民人均纯收入较高的乡镇主要集中在南部及西部地区，各县区域关镇的农民收入水平相对较高。

(3) 第一产业从业人员比重 鄱阳湖区第一产业多以农业为主，在从业人员中，第一产业比重越高，说明研究单元内劳动力多集中在农业口，对农业的依赖性大，在洪灾面前表现出的脆弱性则越强；第一产业比重越低，从农业中分流出来从事第二、三产业的人员就越多，抗御洪涝灾害的能力就越强，脆弱性程度则越低。在所研究的 180 个乡镇中 (表 5)，2004 年第一产业从业人员所占比重平均为 54.94%，比重在 50% 以上的乡镇达 135 个，集中了研究区内一产从业人员的 80.20%；比重在 60% 以上的乡镇有 86 个，集中了区内 56.73% 的一产人员。大量的劳动力依赖于农业是多数乡镇农户脆弱性程度较高的根源之一。由于各县区二、三产业主要集中在城关镇及少数经济、交通条件较好的乡镇，这些地区第一产业从业人员的比重一般较低 (图 5e)。

(4) 农业收入占农村经济总收入比重 在农村经济收入结构中，农业收入所占比重越大，说明农村经济结构单一，多种经营能力不强，市场化和多样化发展不充分，农户对农业的依赖性就越大，对洪灾的脆弱性也就越大；反之，农村经济市场化与多样化越发达，农户稳定增收渠道越多，受自然条件的约束就越小，对洪灾的脆弱性也就越小。在研究区内，2004 年农业收入占农村经济总收入的比重平均为 43.43%，总体上反映出农业是农户的主要收入来源；比重超过 40% 的乡镇达 138 个 (表 5)，占乡镇总数的 76.67% 和农业收入的 82.70%，比重超过 50% 的乡镇对应指标分别为 98 个、54.44% 和 57.99%。在地域上 (图 5f)，湖区的东部和北部要高于西部和南部，同样，各县区域关镇的这一比重明显低于其它乡镇。

4.2 湖区农户洪灾脆弱性的空间集成

对各单项脆弱性分析指标采用公式 (1)、(2) 作归一化处理，通过公式 (3) 得到鄱阳湖区各研究单元多要素共同作用下的脆弱性指

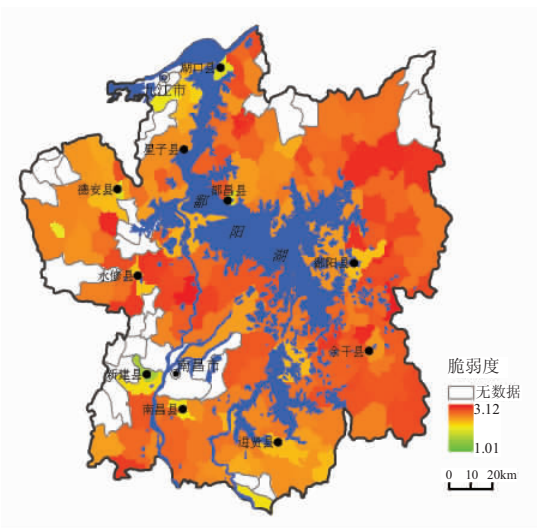


图 6 鄱阳湖区农户洪灾脆弱性分布图
Fig. 6 Spatial distribution of farmers' vulnerability to flooding in the PLR

表 6 2004 年鄱阳湖不同脆弱性地区的 6 项要素比较

Tab. 6 Comparison of factors between areas with different values of vulnerability to flooding in the PLR (2004)

脆弱度	乡镇 数量 (个)	乡村人口 比重 (%)	耕地面积 比重 (%)	单位面积 GDP (万元/km ²)	农民人均 纯收入 (元)	第一产业从业 人员比重 (%)	农业收入 比重 (%)
< 2.0	12	25.50	31.54	655.21	3665	24.57	9.20
2.0-2.3	26	62.71	28.40	225.69	2689	43.53	37.56
2.3-2.5	42	85.25	33.11	139.73	2334	53.94	41.34
2.5-2.8	64	87.42	40.08	164.05	2339	61.83	48.73
> 2.8	36	93.01	48.09	84.32	1907	68.92	70.21

标值，形成新图层属性表，由此生成鄱阳湖区农户洪灾脆弱性空间分布图 (图 6)。

总体上来看，湖区东部的洪灾脆弱性要高于西部，两地区在土地利用及社会经济发展水平等方面存在的差异性形成了农户对洪涝灾害的敏感性及其应对能力上的差距。在地域上，鄱阳湖区农户洪灾脆弱度较高的地区同五河干流区域基本吻合，这些地区沿河道两岸相对平坦开阔，洪灾频发、经济滞后与高脆弱性互为因果。而脆弱度最低的地区是沿湖各县城关镇所在区域及部分社会经济水平较高的乡镇，这同这些地区发展条件好、经济比较发达、防洪工程设施标准高有密切关系。对比图 5 和图 6 可以看出，基本上乡村人口、耕地面积、一产从业人员及农业收入等比重高的地区，农户的洪灾脆弱性水平相对也高；而单位面积 GDP 及农民人均纯收入较高的地区，农户的洪灾脆弱性水平相对较低。

鄱阳湖洪灾风险区 180 个乡镇中，最高脆弱度 3.12，最低脆弱度 1.01，平均脆弱度为 2.50，其中，大于平均值的乡镇数 100 个 (表 6)，占到 55.56%，说明湖区多数乡镇的农户对洪涝灾害有着较高的脆弱性，洪灾是湖区农户发展经济、稳定增收的重要障碍。

根据各研究单元农户脆弱度的分布状况，本文以平均脆弱度为临界值，认为大于平均值的乡镇脆弱性程度较高，小于平均值的乡镇脆弱性程度则较低；以此为基础，利用直方图进行了进一步的划分 (表 6)，目的在于分析比较不同脆弱性水平下各属性要素的特征，更好地反映湖区内部农户脆弱性的相对差异性，为降低脆弱性决策提供科学依据。

表 6 所列数据是不同脆弱性区域各项指标汇总计算所得，从中清晰地反映出农户的洪灾脆弱性程度与各项指标之间的对应关系，即鄱阳湖区各乡镇的洪灾脆弱性水平总体上与其乡村人口比重、耕地面积比重、第一产业从业人员比重、农业收入比重呈正相关，与单位面积 GDP 及农民人均纯收入水平呈负相关。湖区各乡镇农户洪灾脆弱性水平是各项指标综合作用的结果，反映的是农户在洪灾风险中的综合应对能力，在各类脆弱性水平下，部分乡镇存在着个别指标值与所属类型不相吻合的情况。因此，在鄱阳湖区具体实施防洪减灾策略中，既要考虑综合应对能力较低的农户脆弱群体，为他们提供降低洪灾脆弱性的途径及措施；同时也要根据各乡镇或地区的具体情况，针对不同要素的空间差异格局，确定在洪灾风险中单项要素的农户脆弱群体，并实施更有针对性的救助或援助，使湖区农户能够真正摆脱贫困的现状，提高洪涝灾害的应对能力，降低脆弱性。

5 结论与讨论

(1) 江西省鄱阳湖区是我国深受洪涝灾害威胁的地区之一，洪灾风险区面积广、影响深。洪涝灾害的发生有其内在的自然规律，也有湖区社会经济活动叠加的作用。湖区农户脆弱性的强弱折射出洪涝灾害产生的危害深度。

(2) 鄱阳湖区农户洪灾脆弱性受多种因素影响，本文从风险暴露与洪灾应对能力的角度，筛选出反映农户生活状况的 6 个因素作为计算指标，并考虑了不同洪水水位对各高程单元的影响差异，就湖区各乡镇农户的脆弱性程度进行了量化分析。结果表明，半数以上的乡镇在洪灾面前表现出较高的脆弱性，说明鄱阳湖区洪灾危害严重，防洪减灾任务艰巨。值得一提的是，乡镇的洪灾脆弱性程度并不完全等同于在洪灾中的受损程度。

毫无疑问,对于人口、社会经济要素密集的地区应重点加强防洪工程建设,提高防洪抗灾能力,以避免因洪涝灾害发生而造成重大损失;但就洪灾脆弱性较高的地区而言,洪涝灾害直接威胁并冲击着农户的生产和生活基础,使其生活水平下降且恢复困难,因此,如何提高他们的应对能力,降低风险脆弱性,是脆弱性研究的目标所在。

(3) 本文定量计算所得结果反映的是湖区内部各乡镇农户脆弱性的空间差异,目的在于寻求洪涝灾害过程中的脆弱群体,为湖区防洪减灾决策提供科学依据。不同的指标选取和不同的计算方法,会得到不同的脆弱性值,重要的是脆弱群体的定位。对所选指标脆弱性意义理解上的出入将会导致计算结果的相异,因此,合理地选择和运用脆弱性分析指标对于防洪减灾中脆弱群体的确定尤为重要。

(4) 以乡镇为单元研究鄱阳湖区农户的洪灾脆弱性,可以避免因基本研究单元面积过大而掩盖其内部差异,能够更真实地反映湖区农户脆弱性的空间分布特征。

致谢:江西省水利规划设计院熊大衍先生对本文给予了大力帮助,谨致谢忱!

参考文献 (References)

- [1] Wang Jianhua, Jiang Dong, Chen Chuanyou. The study of flood law in China. *Journal of Catastrophology*, 1999, 14(3): 36-40. [王建华, 江东, 陈传友. 我国洪涝灾害规律的研究. *灾害学*, 1999, 14(3): 36-40.]
- [2] Shi Changxing, Zhang Dian. Analysis of sedimentation on flooding disasters in China. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 627-636. [师长兴, 章典. 中国洪涝灾害与泥沙关系. *地理学报*, 2000, 55(5): 627-636.]
- [3] Li Fuxiang, Wang Shaoli. The flooding disasters and potential of grain yield increase in main grain production area of China. *Disaster Reduction in China*, 2000, 10(2): 22-24. [李福祥, 王少丽. 中国主要产粮区洪涝灾害与粮食增产潜力. *中国减灾*, 2000, 10(2): 22-24.]
- [4] Wang Run, Jiang Tong, Lorenz King et al. Review on global natural catastrophes in the 20th century. *Journal of Natural Disasters*, 2000, 9(4): 9-15. [王润, 姜彤, Lorenz King 等. 20 世纪重大自然灾害评析. *自然灾害学报*, 2000, 9(4): 9-15.]
- [5] Liu Huiyu, Lin Zhenshan, Zhang Mingyang. Wavelet analysis of area affected by flood disaster in China after 1949. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(1): 43-48. [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. *地理科学*, 2005, 25(1): 43-48.]
- [6] Zhou Wuguang, Shi Peijun. Advances in flood risk management study and the primary research on flood risk management models in China. *Journal of Natural Disasters*, 1999, 8(4): 62-72. [周武光, 史培军. 洪水风险管理研究进展与中国洪水风险管理模式初步探讨. *自然灾害学报*, 1999, 8(4): 62-72.]
- [7] Martha G Roberts, Yang Guo'an. The international progress of sustainable development research: A comparison of vulnerability analysis and the sustainable livelihoods approach. *Progress in Geography*, 2003, 22(1): 11-21. [Martha G Roberts, 杨国安. 可持续发展研究方法国际进展: 脆弱性分析方法与可持续生计方法比较. *地理科学进展*, 2003, 22(1): 11-21.]
- [8] Shang Yanrui, Shi Peijun. Discussion on the role of anthropogenic factors in the forming of agricultural drought disaster process. *Journal of Natural Disasters*, 1998, 7(4): 35-42. [商彦蕊, 史培军. 人为因素在农业旱灾形成过程中所起作用的探讨: 以河北省旱灾脆弱性研究为例. *自然灾害学报*, 1998, 7(4): 35-42.]
- [9] Shi Peijun. Theory on disaster science and disaster dynamics. *Journal of Natural Disasters*, 2002, 11(3): 1-9. [史培军. 三论灾害研究的理论与实践. *自然灾害学报*, 2002, 11(3): 1-9.]
- [10] Zhu Chaohong, Li Rendong. Analysis on changes of the vulnerability of flood-water logging disaster in Dong-ting lake area. *Journal of Central China Normal University (Natural Sciences)*, 2005, 39(2): 283-286. [朱超洪, 李仁东. 洞庭湖区农业洪涝灾害脆弱性变化研究. *华中师范大学学报 (自然科学版)*, 2005, 39(2): 283-286.]
- [11] Chambers R. Editorial introduction: Vulnerability, coping and policy. *Institute of Development Studies Bulletin*, 1989, 20(2): 1-7.
- [12] Kelly P M, Adger W N. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change*, 2000, 27: 325-352.
- [13] Bogardi J. Hazards, risks and vulnerability in a changing environment: the unexpected on human security? *Global Environment Change*, 2004 14: 361-365.
- [14] Shang Yanrui. Vulnerability study: The new development of synthetized study on natural disasters. *Areal Research and Development*, 2000, 19(2): 73-77. [商彦蕊. 自然灾害综合研究的新进展: 脆弱性研究. *地域研究与开发*, 2000, 19(2): 73-77.]
- [15] Shi Peijun. Theory and practice of disaster study. *Journal of Natural Disasters*, 1996, 5(4): 6-14. [史培军. 再论灾害研究的理论与实践. *自然灾害学报*, 1996, 5(4): 6-14.]
- [16] Liu Lanfang, Liu Shenghe, Liu Peilin et al. Synthetic analysis and quantitative estimation of the agricultural

- vulnerability to drought disaster in Hunan Province. *Journal of Natural Disasters*, 2002, 11(4): 78-83. [刘兰芳, 刘盛和, 刘沛林 等. 湖南省农业旱灾脆弱性综合分析与定量评价. *自然灾害学报*, 2002, 11(4): 78-83.]
- [17] Klein R J T, Nicholls R J. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 1999, 28(2): 182-187.
- [18] Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [19] Chu Jinlong, Gao Shu, Xu Jiangang. Risk and safety evaluation methodologies for coastal systems: A review. *Marine Science Bulletin*, 2005, 24(3): 80-87. [储金龙, 高抒, 徐建刚. 海岸带脆弱性评估方法研究进展. *海洋通报*, 2005, 24(3): 80-87.]
- [20] Dow K. Exploring differences in our common future(s): The meaning of vulnerability to global environmental change. *Geoforum*, 1992, 23(3): 417-436.
- [21] Wisner B. Disaster vulnerability: Scale, power and daily life. *GeoJournal*, 1993, 30(2): 127-140.
- [22] Watts M J, Bohle H G. The space of vulnerability: The causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*, 1993, 17: 43-67.
- [23] Bohle H G, Downing T E, Watts M J. Climate change and social vulnerability. *Global Environmental Change*, 1994, 4(1): 37-48.
- [24] Burton I. Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. *Climatic Change*, 1997, 36: 185-196.
- [25] Handmer J W, Dovers S, Downing T E. Societal vulnerability to climate change and variability. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 4: 267-281.
- [26] Dorland C, Tol R S J, Palutikof J P. Vulnerability of the Netherlands and northwest Europe to storm damage under climate change. *Climatic Change*, 1999, 43: 513-535.
- [27] Adger W N, Kelly P M. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 4: 253-266.
- [28] Adger W N. Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World Development*, 1999, 27(2): 249-269.
- [29] Downing T E. Vulnerability to hunger in Africa: A climate change perspective. *Global Environmental Change*, 1991, 12: 365-380.
- [30] Yarnal B. Agricultural decollectivization and vulnerability to environmental change: A Bulgarian case study. *Global Environmental Change*, 1994, 4(3): 229-243.
- [31] Pelling M. What determines vulnerability to floods: A case study in Georgetown, Guyana. *Environment and Urbanization*, 1997, 9(1): 203-226.
- [32] Hamza M, Zetter R. Structural adjustment, urban system, and disaster vulnerability in developing countries. *Cities*, 1998, 15(4): 291-299.
- [33] Mustafa D. Structural causes of vulnerability to flood hazard in Pakistan. *Economic Geography*, 1998, 74(3): 289-305.
- [34] Dilley M. Reducing vulnerability to climate variability in southern Africa: The growing role of climate information. *Climatic Change*, 2000, 45: 63-73.
- [35] O'Brien K, Leichenko R, Kelkar U et al. Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India. *Global Environmental Change*, 2004, 14: 303-313.
- [36] Wei Yiming, Fan Ying, Lu Cong et al. The assessment of vulnerability to natural disasters in China by using the DEA method. *Environmental Impact Assessment Review*, 2004, 24: 427-439.
- [37] Shang Yanrui. The analysis of drought, agricultural drought disaster and the farmhouses' vulnerability: Taking the typical farmhouses of Xingtai County as an example. *Journal of Natural Disasters*, 2000, 9(2): 55-61. [商彦蕊. 干旱、农业旱灾与农户旱灾脆弱性分析: 以邢台县典型农户为例. *自然灾害学报*, 2000, 9(2): 55-61.]
- [38] Fan Yunxiao, Luo Yun, Chen Qingshou. Discussion on quantification method of evaluating vulnerability indexes of hazard bearing body. *Journal of Catastrophology*, 2000, 15(2): 78-81. [樊运晓, 罗云, 陈庆寿. 承灾体脆弱性评价指标中的量化方法探讨. *灾害学*, 2000, 15(2): 78-81.]
- [39] Wang Zhaohui, Wang Kelin, Xiong Ying et al. Assessment of the vulnerability of flood-waterlogging disaster and countermeasures of disaster reduction in Hunan Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(6): 587-592. [汪朝辉, 王克林, 熊鹰 等. 湖南省洪涝灾害脆弱性评估和减灾对策研究. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(6): 587-592.]
- [40] Fan Yunxiao, Gao Penghui, Wang Hongjuan. Theoretical model for fuzzy evaluation of vulnerability of regional hazard bearing body. *Journal of Catastrophology*, 2003, 18(3): 21-24. [樊运晓, 高朋会, 王红娟. 模糊综合评判区域承灾体脆弱性的理论模型. *灾害学*, 2003, 18(3): 21-24.]
- [41] Shi Peijun, Wang Jing'ai, Zhou Junhua et al. Integrated risk management of flood disaster in China. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(4): 1-7. [史培军, 王静爱, 周俊华 等. 中国水灾风险综合管理. *自然灾害学报*, 2004, 13(4): 1-7.]
- [42] Su Yun, Zhou Hongjian, Cui Xinting. Vulnerability of agricultural drought hazard-bearing body with analysis of its cause in Dingcheng district in Hunan Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(4): 522-527. [苏筠, 周洪建, 崔欣婷. 湖南鼎城农业旱灾脆弱性的变化及原因分析. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(4): 522-527.]

- [43] Liu Lanfang, Guan Xin, Tang Yunsong. Vulnerability of agricultural drought and agricultural losses reduction during drought through implementation of ecological measures: A case study of Hengyang, Hunan Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(2): 69-73. [刘兰芳, 关欣, 唐云松. 农业旱灾脆弱性评价及生态减灾研究: 以湖南省衡阳市为例. *水土保持通报*, 2005, 25(2): 69-73.]
- [44] Cui Xinting, Su Yun. A primary study on evaluating disaster bearing body's vulnerability to agricultural droughts under small spatial scale: A case study of Shuangqiaoping Town in Changde City. *Geography and Geo-information Science*, 2005, 21(3): 80-84. [崔欣婷, 苏筠. 小空间尺度农业旱灾受灾体脆弱性评价初探: 以湖南省常德市鼎城区双桥坪镇为例. *地理与地理信息科学*, 2005, 21(3): 80-84.]
- [45] Cai Yunlong, Barry Smit. Sensitivity and adaptation of Chinese agriculture under global climate change. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(3): 202-212. [蔡运龙, Barry Smit. 全球气候变化下中国农业的脆弱性与适应对策. *地理学报*, 1996, 51(3): 202-212.]
- [46] Wang Jing'ai, Shang Yanrui, Su Yun et al. A vulnerability diagnosis of agricultural drought disasters and regional sustainable development in China. *Journal of Beijing Normal University (Social Science Edition)*, 2005, (3): 130-137. [王静爱, 商彦蕊, 苏筠 等. 中国农业旱灾受灾体脆弱性诊断与区域可持续发展. *北京师范大学学报(社会科学版)*, 2005, (3): 130-137.]
- [47] Wang Guoqing, Zhang Jianyun, Zhang Silong. Impacts of climate change on water resources and its vulnerability in China. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2005, 16(2): 7-10. [王国庆, 张建云, 章四龙. 全球气候变化对中国淡水资源及其脆弱性影响研究综述. *水资源与水工程学报*, 2005, 16(2): 7-10.]
- [48] Duan Xianming. Strengthening ecological forestry construction in order to guarantee ecological safety on the Poyang Lake regions. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(3): 45-47. [段显明. 加强生态林业建设保障鄱阳湖区生态安全. *中国生态农业学报*, 2001, 9(3): 45-47.]
- [49] Zhu Hongfu, Jin Feng, Li Rongfang (ed.). *The Pondage Action and Comprehensive Management for Disaster Mitigation of Poyang Lake*. Beijing: China Meteorological Press, 2002. 1-24. [朱宏富, 金锋, 李荣芳 编著. *鄱阳湖调蓄功能与防灾综合治理研究*. 北京: 气象出版社, 2002. 1-24.]
- [50] The Editorial Committee of *Studies on Poyang Lake* (ed.). *Studies on Poyang Lake*. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1988. 13-18. [《鄱阳湖研究》编委会. *鄱阳湖研究*. 上海: 上海科学技术出版社, 1988. 13-18.]
- [51] Shu Xiaobo, Liu Ying, Xiong Xiaoying. Ecological environment factors of flooding disasters and countermeasures of reducing disasters in Poyang Lake Region. *Journal of Jiangxi Normal University (Natural Sciences)*, 2001, 25(2): 180-185. [舒晓波, 刘影, 熊小英. 鄱阳湖区洪涝灾害的生态环境因素与生态减灾对策. *江西师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 25(2): 180-185.]

Farmers' Vulnerability to Flooding in the Poyang Lake Region

MA Dingguo^{1,2,3}, LIU Ying³, CHEN Jie³, ZHENG Lin³, ZHANG Wenjiang^{1,2}

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *College of Geography & Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)*

Abstract: This paper examines quantitatively farmers' vulnerability to flood in the Poyang Lake Region (PLR) using GIS technique. The spatial unit for this analysis is township. The analysis consists of three major steps. First, the spatial extent and characteristics of flood risk areas were determined using a digital elevation model (DEM) derived from a 1:50,000 topographic map. Second, for each of the township values of six indices reflecting the economic activities of local farmers were computed. These indices are: percentage of rural population, percentage of farmland, GDP per acreage, percentage of employment in the first industry, net income per farmer and percentage of agricultural income. The values of these six indices were then normalized and used for vulnerability assessment. Third, the normalized indices (as GIS data layers) were overlaid with the flood risk areas to obtain the risk coefficient of each township and to calculate the overall vulnerability of each township. The analysis results show that there are large-scale flood risk areas which have a great impact on livelihood of the farmers in the PLR. 55.56% of 180 townships among flood risk areas have a high degree of vulnerability to flood. These townships stand at the lakefront around the Poyang Lake and the alongshore zones at the 'Five Rivers'.

Key words: flooding; farmer; vulnerability analysis; the Poyang Lake Region