

# 基于 GIS 和加权综合指数模型的 2015 年广西旱灾风险暴露度评估

廖春贵<sup>1,2,3</sup>, 秦年秀<sup>1,2,3</sup>, 胡宝清<sup>1,2,3\*</sup>, 姜宁<sup>1,2,3</sup>, 熊小菊<sup>3</sup> (1. 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001; 2. 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西南宁 530001; 3. 广西师范学院地理科学与规划学院, 广西南宁 530001)

**摘要** 对广西 14 个地级市的旱灾风险暴露度进行评估, 为广西防旱减灾决策提供依据。利用 2015 年广西各类干旱灾情统计资料, 结合耕地面积、有效灌溉面积、人口密度、社会经济等资料, 构建干旱灾害风险暴露度评估指标体系。借助综合加权指数模型对广西干旱灾害风险人口暴露度、经济暴露度与农业暴露度进行分析与评估。最后给出了基于人口暴露度、经济暴露度与农业暴露度 3 个条件的干旱灾害风险暴露度区划。结果表明, 2015 年干旱灾害风险暴露度较高的有南宁市、桂林市、钦州市, 整体趋势是桂中、桂东北高, 沿海地区普遍偏低。

**关键词** 干旱; 风险暴露度; 评估; 广西

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)08-0069-05

## Risk Exposure Assessment of Drought Disaster in 2015 Based on GIS and Weighted Composite Index Model

LIAO Chun-gui<sup>1,2,3</sup>, QIN Nian-xiu<sup>1,2,3</sup>, HU Bao-qing<sup>1,2,3\*</sup> et al (1. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Ministry of Education, Nanning, Guangxi 530001; 2. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning, Guangxi 530001; 3. School of Geography and Planning, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi 530001)

**Abstract** In order to provide the basis for Guangxi drought mitigation decision, the study assessed the drought risk exposure in 14 prefecture level cities in Guangxi. Based on the statistical data of drought disaster of Guangxi in 2015, the index system of drought risk exposure was established based on the data of cultivated land area, effective irrigation area, population density, social economy and so on. Based on the comprehensive weighted index model, the exposure degree, economic exposure degree and agricultural exposure degree of drought risk population in Guangxi were analyzed and estimated. Finally, based on the population exposure, economic exposure and agricultural exposure, the risk degree zoning of drought disaster was proposed. The results showed that the drought risk exposure of Nanning, Guilin and Qinzhou was high, the overall trend was high in central and northeastern Guangxi, and the coastal areas were generally low in 2015.

**Key words** Drought disaster; Risk exposure; Assessment; Guangxi

干旱是因水量供求不平衡而形成的持续水分短缺的自然现象, 可将干旱分成气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱。干旱是影响广西经济、社会和农业发展的主要自然灾害之一<sup>[1]</sup>。研究表明, 在所有可能避免、减轻自然灾害的措施中, 最简单有效的方法是对自然灾害风险进行评估, 再进行进一步风险区划, 将自然灾害管理提高到风险管理的水平<sup>[2]</sup>。灾害风险的影响不仅由灾害本身决定, 更取决于风险暴露度和脆弱性决定因子<sup>[3]</sup>。《管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告》指出, 暴露度 (Exposure) 是指人类及人类与生产生活密切相关的基础设施、环境、资源、经济、社会、文化财产等方面处在容易受负面影响的地方<sup>[4]</sup>。干旱风险的暴露度是指可能受到干旱缺水威胁的经济、社会、自然环境系统, 具体包括工业、农业、城市、人类及生态环境等。我国的旱涝灾害在空间分布上呈现北方容易遭干旱灾害, 而南方旱灾和洪涝一起发生的特征<sup>[4]</sup>。干旱受灾范围广, 在这样的背景下, 处在南方地区的广西壮族自治区面临的抗旱减灾形势将越来越严峻, 任务也越来越艰巨。因此, 应做好干旱灾害风险评估和管理, 减轻由大气变化引起的干旱事件的影响<sup>[5]</sup>。

目前, 国内外对灾害风险评估已进行了大量研究, 其内容涉及到干旱指标等级划分与旱灾承灾体暴露度的评估等。

干旱风险暴露度评估的对象包括人类及社会经济实体, 其评估指标有数量型指标和价值量型指标 2 种<sup>[4]</sup>。国内外学者对灾害风险暴露度评估进行了研究。刘兰芳等<sup>[6]</sup>选取降水量、人口密度等 8 个要素作为旱灾脆弱性评价指标对 2013 年我国南方地区农业旱灾风险进行了评估; 王莺等<sup>[7]</sup>从致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力 4 个方面对我国南方地区农业的干旱灾害进行了风险评估; 王豫燕等<sup>[8]</sup>以江苏省为研究区域, 利用灾情数据和社会经济数据, 从灾害发生的暴露范围、人口暴露度和农作物暴露度 3 个方面分析了灾害的暴露度特征; 王艳君等<sup>[9]</sup>以各省的受灾面积、人口密度、地均 GDP 以及农作物播种面积分别代表各省暴露于暴雨洪涝灾害下的范围、人口暴露度、经济暴露度和农作物暴露度, 对我国暴雨洪涝灾害的暴露性与脆弱性的时空变化特征进行研究。广西的区位优势明显, 国家战略地位突出, 如今作为中国-东盟合作前沿, 战略地位重要。综合近几年的文献, 发现学者对干旱风险暴露度的评估研究较少, 对广西地区的干旱风险暴露度评估基本处于空白。因此开展广西干旱风险暴露度评估具有重要的理论和现实意义。笔者基于 GIS 和加权综合指数模型, 评估了 2015 年广西旱灾风险暴露度, 以为广西干旱灾害管理工作提供科学依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 广西壮族自治区位于 104°26' ~ 112°04' E, 20°54' ~ 26°24' N, 属中亚热带季风气候区和南亚热带季风气候区, 气候温暖、干湿分明、旱涝突出、灾害频繁。各地级市年平均气温 16.0 ~ 23.0 °C, 各地级市年降水量均

**基金项目** 国家自然科学基金项目(41361022); 广西科技开发项目(2014 DD29090)。

**作者简介** 廖春贵(1991—), 男, 广西玉林人, 硕士研究生, 研究方向: 国土资源开发与规划。\* 通讯作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事脆弱环境演变与整治研究。

**收稿日期** 2017-01-22

在1 070~2 000 mm,降水时空分布不均,东部多,西部少,各地级市多年平均水面蒸发量为600~1 200 mm,降水量在年内和年际之间的时空分布差异大。全区范围的大旱平均20年发生1次。一年四季均可发生干旱,危害广西的旱灾主要是春旱和秋旱。近年来,每年均出现干旱,且持续时间长,易出现2种类型以上连旱,危害严重。2015年3—5月,全区各月平均气温较常年同期偏高1.0~1.6℃;3—5月初,广西大部地区降水量偏少,其中3月1日至4月30日全区平均降雨量为1951年以来同期最少。干旱造成广西直接经济损失8 075.17万元,河池、百色、梧州、南宁、来宾5市16县(市、区)出现旱灾,共有84.51万人受灾,饮水困难6.7万人,饮水困难牲畜0.48万头;农作物受灾面积10.1万hm<sup>2</sup>,其中成灾5.0万hm<sup>2</sup>,绝收0.2万hm<sup>2</sup>。

**1.2 资料来源** 根据干旱灾害风险暴露度评估的基本要素分析和研究目的,应用1981—2015年广西地情网、广西气象台站的各类干旱统计资料,2010版民政部门的行政区划、以及统计部门编著的《2015广西统计年鉴》中的区域内各县人口、经济、有效灌溉面积和耕地面积占总面积的比率等社会经济指标资料。

**1.3 指标选取** 由于干旱灾害系统的复杂性,使得干旱灾害暴露度评估指标体系的构造成为一个非常复杂的问题。为了使选取的指标体系能更加全面地反映地区干旱风险暴露度的本质特征,必须做到科学、合理,且符合广西的实际情况。为此,在指标选取时应遵循客观性、准确性、代表性、普适性、适用性、可获性、结构性、系统性、综合性、可操作性等原则。

干旱风险的暴露度由经济、社会、自然环境系统等因素决定,人口暴露度、经济暴露度、农业暴露度3个子系统组成风险暴露度,地区暴露度越大,可能受到的潜在损失越大。因此,干旱风险的暴露度评估指标应包括人口、经济、农业三大类,用暴露于干旱灾害下各地级市的人口密度作为人口暴露度指标,用耕地面积、农作物播种面积百分比、有效灌溉面积、粮食产量指标作为农业暴露度的评估指标,各地级市人均GDP、经济密度指标作为经济暴露度的评估指标。

**1.4 参数的选取及标准化** 暴露度指人员、生计、环境服务和各种资源、基础设施,以及经济、社会或文化资产等处在有可能受到不利影响的位置,反映在一定强度致险因子影响下,可能遭受损失的承灾体总量。对于风险而言,暴露度越大,其灾害风险也越大<sup>[10]</sup>。在暴露度指标的选取上,用暴露于干旱灾害下各地级市的人口密度作为人口暴露度指标,用耕地面积、农作物播种面积百分比、有效灌溉面积、粮食产量指标作为农业暴露度的评估指标,各地级市人均GDP、经济密度指标作为经济暴露度的评估指标。

干旱风险暴露度评估是在不考虑大范围环境的背景下,对区域内将要出现的干旱灾害进行风险评估,针对干旱可能造成的经济、农业等危害进行综合评估。干旱风险暴露度评估参数主要有人口暴露度、经济暴露度和农业暴露度等。为便于计算,选用极值标准化方法,公式如下:

$$\text{正向指标: } y_{ij} = x_{ij} / \max(x_{ij}) \quad (1)$$

$$\text{逆向指标: } Y_{ij} = \min(x_{ij}) / x_{ij} \quad (2)$$

式中, $x_{ij}$ 、 $y_{ij}$ 分别为指标的原始值和标准值; $\max(x_{ij})$ 指该指标中的最大值; $\min(x_{ij})$ 指该指标中的最小值。

**1.5 评估模型的选取** GIS在空间数据采集、处理存储与空间查询等方面具有强大的功能<sup>[11]</sup>。干旱灾害评估是一种时间、空间非常复杂的过程,数据量大,关系复杂,其属性与空间数据有密切关系。运用GIS技术,将人口暴露度、经济暴露度与农业暴露度采用数学模型进行评估,在空间上进行表达,获得区域干旱灾害风险分级空间分布图。采用综合加权指数模型对干旱风险暴露度进行评估。综合加权指数模型如下<sup>[12-13]</sup>:

$$R = \sum_{i=1}^n F_i \cdot W_i \quad (3)$$

式中, $R$ 为评估指标; $F_i$ 表示某地级市第*i*种指标的标准值; $W_i$ 表示某地级市第*i*种指标所占的权重,可通过专家咨询法获取。

## 2 结果与分析

**2.1 旱灾风险暴露度评估结果** 在所有可能避免、减轻自然灾害的措施中,最简单有效的方法是对自然灾害风险进行评估,再进行风险区划,将自然灾害管理提高到风险管理的水平。灾害风险的影响不仅由灾害本身决定,更取决于风险暴露度和脆弱性决定因子。干旱风险暴露度由干旱风险人口暴露度、干旱风险经济暴露度、干旱风险农业暴露度3个子系统组成。人口密度、耕地面积、粮食产量、有效灌溉面积、农作物播种面积百分比、人均GDP、经济密度指标数据见表1,运用式(1)、(2)对数据进行处理,得到2015年广西干旱灾害风险暴露度评估指标数据极值标准化处理结果(表2),根据估指标数据处理结果及咨询专家给出的权重得出广西干旱灾害风险暴露度评估结果(表3)。

**2.2 人口暴露度** 以广西的14个地级市为研究对象,选择2015年各个地级市的人口密度作为干旱灾害人口暴露度的评估指标。通过调查和对现有资料分析,得到各地级市的人口密度,然后将各市人口密度指数进行标准化处理,使暴露性指数为0~1.000,对人口密度进行等级划分,并按数值大小分为高值区(>0.120)、较高值区(0.060~0.110)、中值区(0.024~0.050)和较低值区(0.010~0.040),低值区(<0.010)。在此基础上,利用GIS技术进行空间分析,绘制人口暴露度分布图。从图1可以看出,2015年广西14个地级市面临着不同等级的人口暴露度,人口暴露度较大的市主要位于广西中部以及东南地区,沿海地区和南流江水系沿岸的地区人口密度大,人口暴露度相对较大。人口暴露度在500人/km<sup>2</sup>以上的地区有玉林市、贵港市、钦州市和北海市,占广西总面积的12.3%,原因在于玉林市气候温和、农业发达;贵港市地处西江流域中游浔郁平原中部,是国家一类对外开放口岸,工业发达;北海、钦州位于沿海地区,经济发达,吸引的外来务工人员多,这些区域人口密度较大,人口暴露度高。人口暴露度在500人/km<sup>2</sup>以下的有百色市、河池市、崇左市、防城港市,占广西区面积41.0%。桂西北属于喀斯

特地区,地表水稀缺,人口密度小,人口暴露度低,广西干旱 风险人口暴露度东南部高于西北部。

表 1 2015 年广西干旱灾害风险暴露度评估指标数据

Table 1 Evaluation index data of drought risk exposure assessment data of Guangxi in 2015

地区 Region	耕地面积 Cultivated land area//千 hm <sup>2</sup>	粮食产量 Grain yield 万 t	有效灌溉面积 Effective irrigation area//千 hm <sup>2</sup>	经济密度 Economic density 亿元/km <sup>2</sup>	农作物播种面积百分比 Crop sown area percentage//%	人口密度 Population density//人/km <sup>2</sup>	人均 GDP GDP per capita 元
南宁市 Nanning City	692.46	225.27	253.56	0.142	0.044	330.18	45 735
柳州市 Liuzhou City	351.20	85.33	88.55	0.119	0.022	203.22	57 049
桂林市 Guilin City	334.10	206.19	215.04	0.066	0.025	189.32	37 288
梧州市 Wuzhou City	171.65	82.15	73.17	0.084	0.023	270.66	35 819
北海市 Beihai City	125.24	38.35	50.51	0.257	0.055	507.37	53 636
防城港 Fangchenggang	91.66	20.05	29.14	0.094	0.020	151.07	65 179
钦州市 Qinzhou City	197.70	114.07	82.40	0.785	0.360	3 689.63	26 971
贵港市 Guigang City	320.48	154.84	151.56	0.076	0.042	512.33	19 004
玉林市 Yulin City	238.70	189.40	141.00	0.104	0.038	551.45	23 780
百色市 Baise City	450.27	120.78	107.79	0.025	0.014	113.81	25 803
贺州市 Hezhou City	124.24	73.62	65.51	0.038	0.021	202.54	22 375
河池市 Hechi City	366.89	105.08	85.46	0.018	0.015	125.42	17 467
来宾市 Laibin City	408.84	81.82	100.79	0.041	0.033	198.63	25 558
崇左市 Chongzuo City	520.48	51.35	85.58	0.037	0.031	143.19	31 942

表 2 2015 年广西干旱灾害风险暴露度评估指标数据极值标准化处理结果

Table 2 Results of data extreme standardization of risk exposure assessment of Guangxi in 2015

地区 Region	耕地面积 Cultivated land area	粮食产量 Grain yield	有效灌溉面积 Effective irrigation area	经济密度 Economic density	农作物播种面积百分比 Crop sown area percentage	人口密度 Population density	人均 GDP GDP per capita
南宁市 Nanning City	1.000	0.879	1.000	0.162	1.000	0.060	0.592
柳州市 Liuzhou City	0.432	0.280	0.265	0.131	0.335	0.025	0.830
桂林市 Guilin City	0.404	0.797	0.828	0.062	0.681	0.021	0.415
梧州市 Wuzhou City	0.133	0.266	0.196	0.087	0.199	0.044	0.385
北海市 Beihai City	0.056	0.078	0.095	0.311	0.070	0.110	0.758
防城港 Fangchenggang	0	0	0	0.100	0	0.010	1.000
钦州市 Qinzhou City	0.176	0.403	0.237	1.000	0.318	1.000	0.199
贵港市 Guigang City	0.381	0.577	0.545	0.076	0.378	0.111	0.032
玉林市 Yulin City	0.245	0.725	0.498	0.113	0.437	0.122	0.132
百色市 Baise City	0.597	0.431	0.350	0.010	0.444	0	0.175
贺州市 Hezhou City	0.054	0.229	0.162	0.026	0.148	0.025	0.103
河池市 Hechi City	0.458	0.364	0.251	0	0.434	0.003	0
来宾市 Laibin City	0.528	0.265	0.319	0.030	0.375	0.024	0.170
崇左市 Chongzuo City	0.714	0.134	0.251	0.025	0.495	0.008	0.303

表 3 2015 年广西干旱灾害风险暴露度评估结果

Table 3 Results of risk assessment of drought disaster of Guangxi in 2015

地区 Region	人口暴露度 Population exposure	经济暴露度 Economic exposure	农业暴露度 Agricultural exposure	风险暴露度 Risk exposure
南宁市 Nanning City	0.060	0.420	0.964	0.530
柳州市 Liuzhou City	0.025	0.550	0.308	0.296
桂林市 Guilin City	0.021	0.274	0.726	0.379
梧州市 Wuzhou City	0.044	0.265	0.208	0.176
北海市 Beihai City	0.110	0.579	0.079	0.238
防城港 Fangchenggang	0.010	0.640	0.208	0.195
钦州市 Qinzhou City	1.000	0.519	0.294	0.573
贵港市 Guigang City	0.111	0.050	0.497	0.247
玉林市 Yulin City	0.122	0.124	0.516	0.280
百色市 Baise City	0.010	0.109	0.430	0.205
贺州市 Hezhou City	0.025	0.072	0.163	0.094
河池市 Hechi City	0.003	0.040	0.353	0.142
来宾市 Laibin City	0.024	0.114	0.345	0.179
崇左市 Chongzuo City	0.008	0.192	0.334	0.194

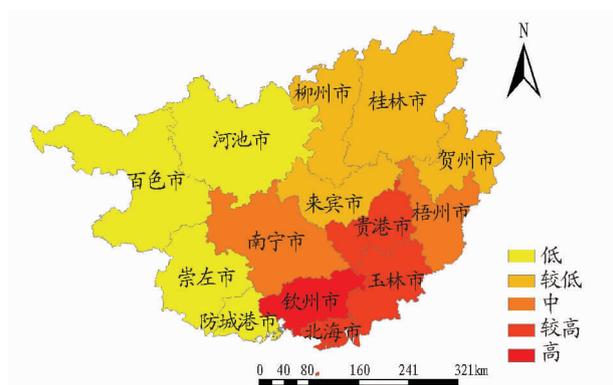


图 1 2015 年广西干旱灾害风险人口暴露度区划

Fig. 1 Regionalization of population exposure of drought disaster in Guangxi in 2015

2.3 经济暴露度 采用人均 GDP、经济密度指标作为干旱灾害人口暴露度的评估指标,其权重分别为 0.4、0.6,运用公式(1)、(2)计算出各地级市的人均 GDP、经济密度的标准值,再利用公式(3)计算出各地级市经济暴露度。按经济暴

露度指数分为高值区( $>0.400$ )、较高值区( $0.270 \sim 0.350$ )、中值区( $0.260 \sim 0.120$ )、较低值区( $0.040 \sim 0.100$ )、低值区( $<0.040$ )。在此基础上,利用 GIS 技术进行空间分析,绘制经济暴露度分布图。由图 2 可知,干旱灾害经济暴露度具有明显的区域特征。2015 年广西 14 个地级市的经济暴露度较高的城市有柳州市、南宁市、钦州市、北海市、防城港市,主要位于广西中部及南部地区,占广西区面积的 22.6%。随着北部湾经济国家开发区的成立,南宁市、钦州市、北海市、防城港市地区的经济发展快速,其地区生产总值增多,经济暴露度相对较大,而桂北的河池市属于石漠化片区,经济生产总产值低,人均 GDP 低,因此其经济暴露度低。

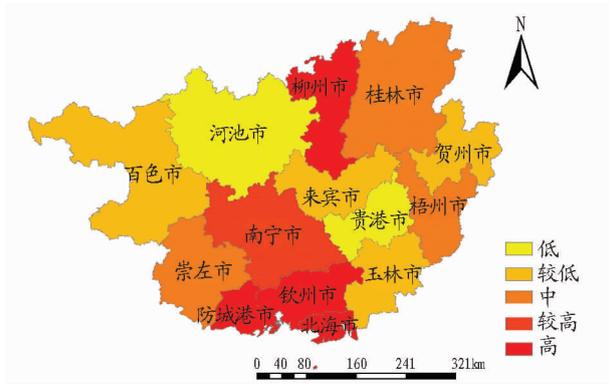


图 2 2015 年广西干旱灾害风险经济暴露度区划

Fig. 2 Regionalization of economic exposure of drought disaster in Guangxi in 2015

**2.4 农业暴露度** 以耕地面积、农作物播种面积百分比、有效灌溉面积、粮食产量指标作为干旱灾害农业暴露度的评估指标,其权重分别为 0.2、0.2、0.3、0.3。采用公式(1)、(2)计算出各地级市的耕地面积、农作物播种面积百分比、有效灌溉面积、粮食产量的标准值,再利用公式(3)计算出各地级市农业暴露度。按农业暴露度指数分为高值区( $>0.500$ )、较高值区( $0.350 \sim 0.450$ )、中值区( $0.200 \sim 0.300$ )、较低值区( $0.070 \sim 0.150$ )、低值区( $<0.070$ )。在此基础上,利用 GIS 技术,绘出 2015 年广西 14 个地级市的农业暴露度分布图。由图 3 可知,农业暴露度较高的城市主要位于广西中部、东南、东北地区。处于农业暴露度高值区的有南宁市、桂林市,原因在于南宁市地形是以邕江广大河谷为中心的盆地,平地是南宁市面积最大的地貌类型,面积为  $1\,037.33\text{ km}^2$ ,占全市面积的 57.78%,同时南宁位于北回归线南侧,属湿润的亚热带季风气候,阳光充足,雨量充沛,农业发达;桂林市地处南岭山系的西南部,属红壤土带,以红壤为主的河流冲积母质砂壤土和水稻土,土层深厚,耕作性良好,是水稻和蔬菜高产区。处于农业暴露度低值区的为北海市、防城港市,属于沿海地区,工业发达,农业暴露度相对低。

**2.5 干旱灾害风险暴露度综合评估** 在分析广西干旱灾害风险人口暴露、经济暴露度、农业暴露度的基础上,其权重分别为 0.3、0.2、0.5,根据公式(3)计算各地级市的干旱灾害风险暴露度指数,利用 GIS 软件采用自然断点法划分风险等级,得到广西干旱风险暴露度综合区划(图 4)。2015 年干旱

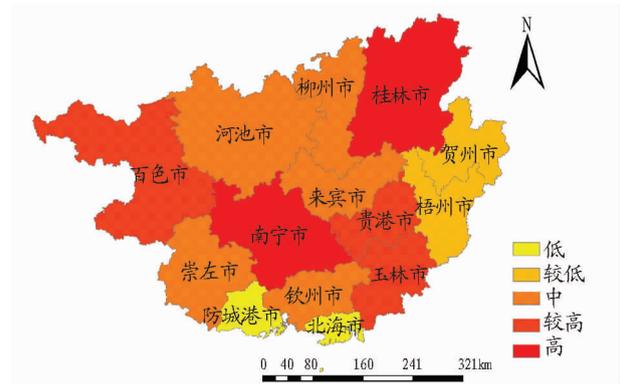


图 3 2015 年广西干旱灾害风险农业暴露度区划

Fig. 3 Regionalization of agricultural exposure degree of drought disaster in Guangxi in 2015

风险暴露度较高的有南宁市、桂林市、钦州市,整体趋势是桂中、桂东北高,沿海地区普遍偏低。

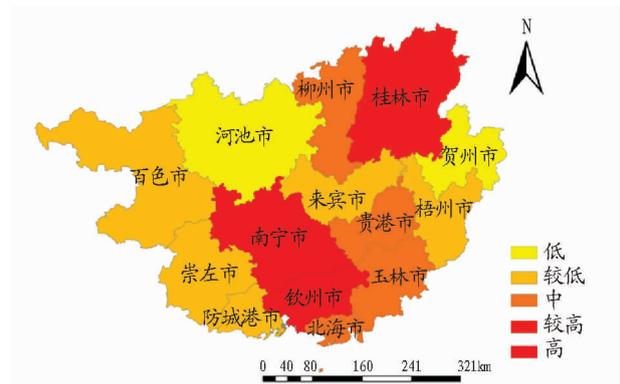


图 4 2015 年广西干旱灾害风险暴露度区划

Fig. 4 Regionalization of comprehensive exposure degree of drought disaster in Guangxi in 2015

### 3 结论与讨论

对自然灾害的研究表明,在科学研究的基础上对自然灾害风险进行评估,进而对自然灾害进行风险区划,将自然灾害管理提高到风险管理的水平,是所有可能避免、减轻自然灾害措施中最简单、有效的方法。通过制订有效的干旱灾害风险管理方案,建立干旱灾害风险分析评估系统,对干旱灾害风险进行评估和预警,在此基础上采取科学的防御措施,以达到预防控制、降低干旱灾害风险的目的。干旱灾害风险评估是进行干旱灾害管理的基础,是减少干旱灾害损失的有效途径。该研究利用地理信息系统、遥感作为技术支持,以社会数据、经济数据、地理信息数据等为基础数据,构建了广西干旱风险暴露度评估指标体系,从广西干旱风险的人口暴露度、经济暴露度和农业暴露度 3 个方面分析了干旱灾害的暴露度特征,主要结论如下:①2015 年广西各地级市干旱灾害风险暴露度在空间上分布不均,呈现桂东北、桂中地区高,桂东南地区低,这与 2015 年广西旱情的实际情况吻合。②干旱灾害风险暴露度在经济发达的城市普遍较高,如南宁市、钦州市等地。随着北部湾经济国家开发区的成立,南宁市、钦州市的经济快速发展,地区暴露度大,可能受到的潜在损失大、风险高。

## 参考文献

- [1] 李耀先,陈翠敏,林墨. 广西区域干旱的分析研究[J]. 热带气象学报, 2009,25(S1):125-131.
- [2] 秦新秀,姜彤. 基于GIS的长江中下游地区洪灾风险分区及评价[J]. 自然灾害学报,2005,14(5):1-7.
- [3] 尹姗,孙诚,李建平. 灾害风险的决策因素及其管理[J]. 气候变化研究进展,2012,8(2):84-89.
- [4] 姚玉璧,张强,李耀辉,等. 干旱灾害风险评估技术及其科学问题与展望[J]. 资源科学,2013,35(9):1884-1897.
- [5] 刘冰,薛澜. “管理极端气候事件和灾害风险特别报告”对我国的启示[J]. 中国行政管理,2012(3):92-95.
- [6] 刘兰芳,肖志成,陈涛,等. 2013年中国南方地区农业旱灾风险评估:以湖南省衡阳市为例[J]. 水土保持通报,2015,35(2):274-278.
- [7] 王莺,沙莎,王素萍,等. 中国南方干旱灾害风险评估[J]. 草业学报,

- 2015,24(5):12-24.
- [8] 王豫燕,王艳君,姜彤. 江苏省暴雨洪涝灾害的暴露度和脆弱性时空演变特征[J]. 长江科学院院报,2016,33(4):27-32.
- [9] 王艳君,高超,王安乾,等. 中国暴雨洪涝灾害的暴露度与脆弱性时空变化特征[J]. 气候变化研究进展,2014,10(6):391-398.
- [10] 郑菲,孙诚,李建平. 从气候变化的新视角理解灾害风险、暴露度、脆弱性和恢复力[J]. 气候变化研究进展,2012,8(2):79-83.
- [11] 石界,姚玉璧,雷俊. 基于GIS的定西市干旱灾害风险评估及区划[J]. 干旱气象,2014,32(2):305-309.
- [12] 徐新创,葛全胜,郑景云,等. 农业干旱风险评估研究综述[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(6):263-270.
- [13] 李晓静,海伦贝尔·李,赵孟赫. 加权综合指数法在贵州省生态经济评价中的应用研究[J]. 生态经济,2015,31(9):48-51.

(上接第54页)

鄱阳湖流域未来的发展状况采用IPCC推荐的SRES情景<sup>[1]</sup>进行描述,挑选其中的B1、A1B、A2 3种情景,分别对应低、中、高3种温室气体排放模式。其中,A1B情景假定经济发展的速度很快,21世纪中期世界人口数量达到最大,更高效的新技术被迅速利用,并且均衡的使用各种能源;B1情景描述的世界人口数量与A1B情景相同,世界趋于同化,但经济结构向服务和信息经济方向的调整速度更快;A2情景描述的世界发展很不均衡,人口增长速度快,但经济发展和技术进步缓慢。

需要注意的是描述未来气候最好是用一段时间而非一年,这样才更为准确,因此选择21世纪中期(2040—2069年)和末期(2070—2099年)这2个时间段进行分析。将不同情景模式下鄱阳湖流域未来降水的CMIP3数据代入水资源预测模型,求出水资源量。其中,CMIP3数据中降水量相对比较时期为1961—1990年,同时期江西的年平均降水量为1650mm。

**B1情景:**至21世纪中期鄱阳湖流域的年平均降水量增加3.25%,达到1704mm,年平均水资源量达到1663.8亿m<sup>3</sup>;到21世纪末期鄱阳湖流域的年平均降水量增加6.31%,达到1754mm,年平均水资源量达到1730.1亿m<sup>3</sup>。

**A1B情景:**至21世纪中期鄱阳湖流域的年平均降水量增加4.50%,达到1720mm,年平均水资源量达到1685.4亿m<sup>3</sup>;到21世纪末期鄱阳湖流域的年平均降水量增加6.94%,达到1765mm,年平均水资源量达到1743.6亿m<sup>3</sup>。

**A2情景:**至21世纪中期鄱阳湖流域的年平均降水量增加2.56%,达到1692mm,年平均水资源量达到1648.9亿m<sup>3</sup>;到21世纪末期鄱阳湖流域的年平均降水量增加5.56%,达到1741mm,年平均水资源量达到1713.8亿m<sup>3</sup>。

分析预测结果可知,21世纪内鄱阳湖流域在3种SRES情景模式下,降水量和水资源量都将有所增加,但增加幅度不大。水资源量的增加有利于经济社会发展,但水资源量增

加的有利影响可能会被降水变率增加和季节径流变化对供水、水质、干旱、洪水风险造成的负面效应所抵消。

## 4 结论

(1)鄱阳湖流域的年平均水资源量是一个随机性较强的时间序列,影响年平均水资源量的主要气候因素是年降水量和年蒸发量。

(2)通过多元逐步回归方法建立了鄱阳湖流域水资源量的预测模型,模型模拟的平均相对误差为4.61%,误差较大的点集中在水资源量的峰值和谷值区,精度较高。

(3)使用水资源预测模型,采用全球气候模式下的CMIP3数据,预测了3种SRES情景下鄱阳湖流域21世纪中期和末期的年平均水资源量,结果显示江西未来的水资源量将有所增加,但增加幅度不大。

## 参考文献

- [1] IPCC. 气候变化2007(综合报告):IPCC第四次评估报告[R]. 瑞士,日内瓦:IPCC,2007:2.
- [2] 江西省水资源公报编辑部. 江西省水资源公报(1999-2012)[R]. 江西省水利厅,1999-2012.
- [3] 中国地面国际交换站气候资料年值数据集[DB/OL]. [2016-11-22]. <http://cdc.cma.gov.cn/home.do>.
- [4] 赵新宇. 大型灌区退水量预测理论与方法研究[D]. 西安:西安理工大学,2007:32.
- [5] 华东水利学院. 水文学的概率统计基础[M]. 北京:水利出版社,1981:6.
- [6] 上海师范大学数学系概率统计教研组. 回归分析及其试验设计[M]. 上海:上海教育出版社,1978.
- [7] ADAM J C, LETTENMAIER D P. Adjustment of global gridded precipitation for systematic bias[J]. Journal of geophysical research, 2003, 108:1414-1422.
- [8] MAURER E P, ADAM J C, WOOD A W. Climate model based consensus on the hydrologic impacts of climate change to the Rio Lempa basin of Central America[J]. Hydrology and earth system sciences, 2009, 13(2): 183-194.
- [9] MEEHL G A, COVEY C, TAYLOR K E, et al. The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research[J]. Bulletin of the American meteorological society, 2007, 88(9):1383-1394.
- [10] WOOD A W, LEUNG L R, SRIDHAR V, et al. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs[J]. Climatic change, 2004, 62(1/2/3):189-216.