

基于综合灾情指数方法的 2012—2016 年江西省自然灾害灾情分析

曾玲艳¹, 周文剑², 陈庭甫¹, 郑美霞¹

(1. 江西省减灾备灾中心, 江西南昌 330036; 2. 江西省上饶市广丰铜钹山镇计生办, 江西上饶 334609)

摘要 [目的] 评估 2012—2016 年江西省灾情区域分布格局, 为相关部门快速评估、科学决策提供参考。[方法] 选择受灾人口、因灾死亡失踪人口、紧急转移安置人口、农作物受灾面积、绝收面积、倒塌房屋户数、损坏房屋户数和直接经济损失等指标进行评估, 利用灾情综合指数法构建灾情指数, 评估 2012—2016 年江西省自然灾害灾情。[结果] 从灾情绝对指数来看, 赣州市、九江市、上饶市灾情突出, 南昌市、新余市、鹰潭市灾情较轻; 从灾情相对指数来看, 景德镇市、萍乡、九江市相对重, 南昌市、新余市、鹰潭市相对轻; 综合考虑灾情绝对指数和相对指数, 分为 4 个类型, 即灾情总量较大且对本地产生较大影响(上饶市、抚州市、九江市)、灾情总量较大但对本地影响较小(吉安市、宜春市、赣州市)、灾情总量较小但对本地影响较大(萍乡市、景德镇市)以及灾情总量较小且对本地影响较小(新余市、鹰潭市、南昌市)。评估结果与各设区市的实际情况相符。[结论] 该研究所给出的综合灾情指数法是评估区域灾情强弱的合理有效方法, 可以推广使用。

关键词 自然灾害; 综合灾情指数; 绝对指数; 相对指数; 江西

中图分类号 S421 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)12-0064-05

Analysis on Natural Disaster of Jiangxi Province from 2012 to 2016 Based on Comprehensive Disaster Index Method

ZENG Ling-yan¹, ZHOU Wen-jian², CHEN Ting-fu¹ et al (1. Jiangxi Province Disaster Reduction and Preparedness Center, Nanchang, Jiangxi 330036; 2. Tongboshan Town Family Planning Office of Guangfeng District of Shangrao City, Shangrao, Jiangxi 334609)

Abstract [Objective] The aim was to evaluate disaster area distribution pattern of Jiangxi Province from 2012 to 2016 so as to provide reference for rapid assessment and making scientific decision of relevant departments. [Method] The indicators including the affected population, the death and missing tolls, the evacuated population, the area of affected crops, the area of the crop without outcome, the number of collapsed buildings, the number of damaged buildings and the direct economic losses were used, and the comprehensive disaster index method was used to construct the disaster index, which evaluated the disaster from 2012 to 2016 in Jiangxi Province. [Result] According to the absolute index, the disaster of Ganzhou, Jiujiang and Shangrao were serious, while Nanchang, Xinyu and Yingtan were less affected. According to the relative index, the natural disaster of Jingdezhen, Pingxiang and Jiujiang was relatively heavy, while the natural disaster of Nanchang, Xinyu and Yingtan was relatively light. Considering the absolute and relative index, the cities of Jiangxi Province could be divided into four types as followed: the first class was that both of the absolute and relative disaster indexes were large; the second class was the absolute index was large but the relative was small; the third class was that the absolute index was small but the relative index was large; the fourth class was that both of the absolute and relative disaster indexes were small. The evaluation result was the same as actual situation and the comprehensive disaster index. [Conclusion] The comprehensive disaster index method in this study should be widely used, and is an effective method to assess the disaster.

Key words Natural disaster; Comprehensive disaster index; Absolute index; Relative index; Jiangxi Province

灾害被认为是当今人类生活的一部分^[1], 与人们的生产生活密切相关。中国是一个多灾害的国家, 近年来遭遇了特重大自然灾害, 如 2008 年的南方地区低温雨雪冰冻、四川汶川地震, 2010 年的西南地区特大旱灾、青海玉树地震和甘肃舟曲泥石流等重特大灾害等^[2]。江西省是自然灾害较为严重的省份之一, 灾害种类多, 洪涝灾害突出, 发生频率高, 造成损失大^[3], 近年来先后发生 2010 年历史罕见暴雨洪涝、2013 年严重干旱灾害、2016 年本世纪以来最大洪水等重特大自然灾害, 给群众生命财产、生产生活造成严重影响。

灾害损失的评估对防灾减灾救灾工作有着重要意义, 能为决策者提供合理科学的依据。近年来, 邱玉珺等^[4]提出了量化灾情强度指数模型, 通过建立灾次指数矩阵和灾种指数矩阵, 给出了多区域多灾种发生强度的评价方法。袁艺^[5]采用灾情综合指数法评估了我国东、中、西部三大地带以及省级区域的灾情强度和空间分布规律, 认为西部地区受灾程度最大, 自然灾害影响程度也最深。程立海等^[6]设计开发了综合灾情指数工具, 包括评价因子、设置权重、规范化灾情指数和综合灾情指数 4 个模块, 以汶川地震为例对地震重灾区的

灾害强度进行了综合评估。张鹏等^[7]提出层级式综合灾情指数计算方法, 通过历史和经济本底数据对灾情指标校准和归一后, 使用几何平均模型, 分别计算人口、农业、房屋和经济 4 个次级指数, 再对其进行二次平均得到综合灾情指数, 可同时在时空两个维度对评价对象的损失程度进行比较。我国学者利用综合灾情指数, 成功地进行了山洪灾害灾情的综合评价^[8]、地震灾区范围的综合评估^[9]、热带风暴灾害直接经济损失的综合评价^[10]。2009 年江西省减灾备灾中心自成立以来, 每年都会对自然灾害灾情进行评估, 但在评估方法、评估时效以及系统性上比较欠缺, 鉴于此, 笔者利用综合灾情指数方法构建灾情指数, 评估了 2012—2016 年江西省灾情区域分布格局, 以期为省级层面快速评估、科学决策提供参考。

1 材料与方法

1.1 综合灾情指数方法概述 综合灾情指数(Natural Disaster Index, NDI)是对给定时间范围内一个区域受灾情况的总体衡量尺度。NDI 从 4 个维度衡量一个区域的平均受灾损失程度, 包括人口、农业、房屋和经济。该研究以江西省各设区市为评价对象, 以 2012—2016 年江西省自然灾害年核报数据为基础, 计算各设区市的综合灾情指数, 其计算步骤如图 1 所示^[7], 并在此基础上构建了灾情绝对指数和灾情相对

指数。灾情绝对指数表征区划灾情的强度,灾情相对指数表征自然灾害对区域社会经济的影响程度。通过对灾情绝对指数和相对指数的综合分析,评估了 2012 - 2016 年江西省灾情区域分布格局。

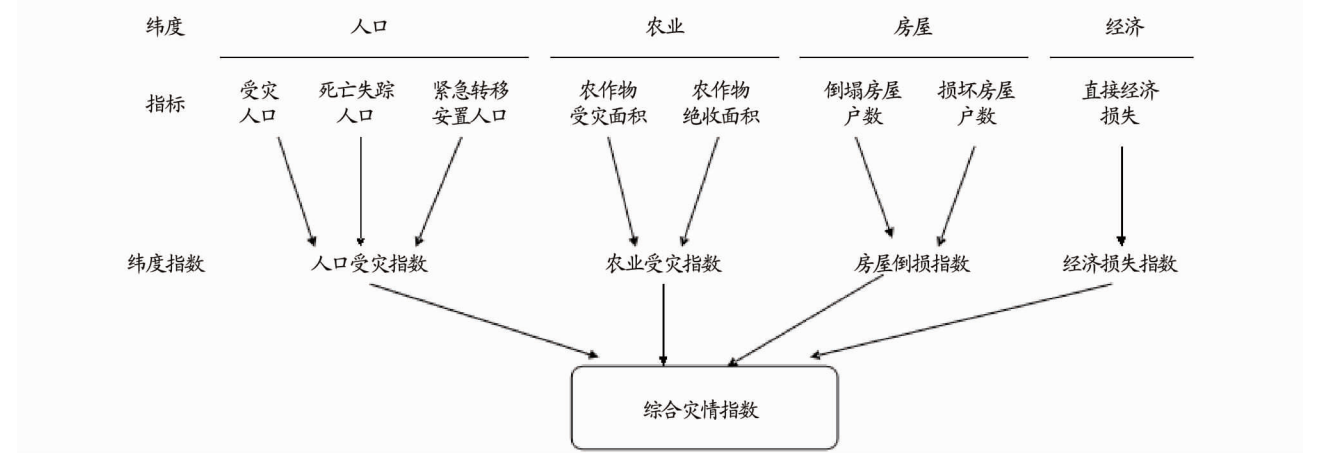


图 1 综合灾情指数计算示意

Fig. 1 The calculation method of comprehensive disaster index

1.2 评估指标选取 人口受灾程度、农作物受灾程度、房屋损失程度、直接经济损失程度是区域灾情评估的核心内容,表征人口受灾程度的指标包括受灾人口、因灾死亡、失踪人口、因灾伤病人口、紧急转移安置人口、需紧急生活救助人口、饮水困难人口等指标,该研究选择受灾人口、死亡失踪人口和紧急转移安置人口综合表达人口受灾程度。受灾人口指某区域内因自然灾害遭受损失的人员数量;因灾死亡失踪人口指以自然灾害为直接原因导致死亡失踪的人员数量;紧急转移安置人口指因自然灾害造成不能在现有住房中居住,需由政府进行安置并给予临时生活救助的人员数量^[11]。受灾人口表征了受灾的范围,因灾死亡失踪人口、紧急转移安置人口表征了受灾深度。农作物受灾面积指因灾减产 10% 以上的农作物播种面积,绝收面积指农作物受灾面积中,因灾减产 80% 以上的农作物播种面积^[11]。受灾面积表征了农作物的受灾范围,绝收面积表征农作物的受灾深度。在江西,表征自然灾害中房屋损失程度的主要是房屋倒塌户数,

同时房屋倒塌也是造成经济损失的主要原因之一,该研究选择倒塌房屋户数和损坏房屋户数参与评估计算。

1.3 计算公式

1.3.1 灾情绝对指数。灾情绝对指数由基本灾情指标构成,用以表达区域灾情的绝对强度,计算公式如下:

$$D_i = \sum_{j=1}^n a_j \frac{X_{ij}}{\max\{X_{ij}\}_i}$$
 (1)

式中, a_j 为第 j 个灾情指标的权重(表 1); X_{ij} 为第 i 个设区市的第 j 个灾情指标的值。

1.3.2 灾情相对指数。灾情相对指数由灾情相对指标,即灾情基本指标与相关设区市的社会经济指标的价值构建,用以表达区域灾情的相对程度,计算公式如下:

$$X_i = \sum_{k=1}^m b_k \frac{Q_{ik}}{\max\{Q_{ik}\}_i}$$
 (2)

式中, b_k 为第 k 个灾情指标与设区市社会经济指标比值的权重(表 1); Q_{ik} 为第 i 个设区市第 k 个灾情指标的值。

表 1 灾情指标的权重
Table 1 The weight of disaster indexes

维度指数 Dimension index	权值 Weight	绝对灾值 Absolute value of disasters		相对灾情权值 The weight of relative disaster situation
		归一化指标	权值	
人口受灾指数 Population disaster index	0.30	受灾人次	0.2	0.2
		死亡失踪人口	0.5	
		紧急转移安置人次	0.3	0.8
农业受灾指数 Agricultural disaster index	0.15	农作物受灾面积	0.3	0.3
		农作物绝收面积	0.7	0.7
房屋倒塌指数 House loss index	0.40	倒塌房屋户数	0.7	0.7
		损坏房屋户数	0.3	0.3
经济损失指数 Economic loss index	0.15	直接经济损失	E	E

为消除通货膨胀造成的经济损失货币值变化,使用国家统计局公布的累积 CPI 指数对直接经济损失进行折算。记第 i 年直接经济损失为 E_0 ,则折算公式如下:

$$E = E_0 / CPI_i$$
 (3)

式中, E 为折算后的直接经济损失; CPI_i 为当年的累积 CPI 指数(以 1999 年为基准)。

1.4 数据来源及处理 灾情绝对强度数据来源于江西省民政厅 2012—2016 年自然灾害年核报,计算主要灾情指标的

平均值(表2)。各设区市总人口、农作物播种面积、民用房屋户数和地区生产总值来源于2016年江西统计年鉴和第六次人口普查数据(表3)。把灾情指标与相关社会经济指标进行了对比处理(表4)。

表2 江西省各设区市 2012—2016 年平均灾情
Table 2 The average disaster of cities of Jiangxi Province from 2012 to 2016

设区市 Cities	受灾人口 Damage-suffering population 万人	死亡失踪人口 Missing and dead persons 人	紧急转移 安置人口 Emergency transfer of resettlement population 万人	农作物受 灾面积 The damage area of crops × 10 ³ hm ²	农作物 绝收面积 Area of crop without yield × 10 ³ hm ²	倒塌房屋 Collapsed building 户	损坏房 屋户数 Number of damaged house//户	直接经 济损失 Direct economic loss//亿元
南昌市 Nanchang City	30.22	6	0.19	25.88	1.51	26.2	789.2	1.43
景德镇市 Jingdezhen City	45.43	1	8.83	30.50	3.94	125.8	393.0	10.76
萍乡市 Pingxiang City	34.16	1	4.32	13.76	3.28	586.0	1 456.2	3.40
九江市 Jiujiang City	126.47	2	9.95	77.17	19.54	1 083.2	3 276.8	15.45
新余市 Xinyu City	22.75	2	0.36	15.49	0.33	214.4	474.8	1.41
鹰潭市 Yingtan City	20.59	1	0.61	20.78	3.03	34.6	341.4	2.12
赣州市 Ganzhou City	76.51	9	7.12	34.09	4.85	1 466.4	7 425.8	11.05
吉安市 Ji'an City	73.10	10	4.64	48.63	8.12	525.6	3 101.4	7.29
宜春市 Yichun City	115.19	5	1.17	110.52	9.09	647.0	2 856.8	10.75
抚州市 Fuzhou City	105.85	2	4.88	92.07	6.58	372.8	4 722.4	11.92
上饶市 Shangrao City	133.63	4	5.97	117.30	16.46	985.8	4 335.4	14.05

表3 江西省各设区市社会经济情况
Table 3 Socioeconomic status of cities of Jiangxi Province

设区市 Cities	面积 Area km ²	总人口 Total number of people//万人	农作物播种面积 Sown area of farm crops × 10 ³ hm ²	民用房屋 Civil houses 户数	生产总值 Gross domestic product//亿元
南昌市 Nanchang City	7 402	530	506.36	1 543 252	4 000.01
景德镇市 Jingdezhen City	5 248	164	149.21	474 814	772.06
萍乡市 Pingxiang City	3 802	190	110.65	522 125	912.39
九江市 Jiujiang City	18 823	482	526.72	1 332 114	1 902.68
新余市 Xinyu City	3 164	117	45.31	379 605	946.80
鹰潭市 Yingtan City	3 554	115	146.11	322 895	639.26
赣州市 Ganzhou City	39 379	855	749.52	2 283 343	1 973.87
吉安市 Ji'an City	25 219	490	876.68	1 351 648	1 328.52
宜春市 Yichun City	18 669	551	827.05	1 539 491	1 621.02
抚州市 Fuzhou City	18 817	399	449.25	1 122 202	1 105.14
上饶市 Shangrao City	22 791	672	770.16	1 796 987	1 650.81

表4 江西省各设区市 2012—2016 年灾情与相关社会经济指标的比值
Table 4 The ratio of disaster to relative socio-economic indicators of cities of Jiangxi Province from 2012 to 2016 %

设区市 Cities	受灾人口/ 总人口 The ratio of Damage-suffering population to total population	紧急转移安 置人口/总人口 The ratio of emergency transfer of resettlement population to total population	农作物受灾面 积/播种面积 The ratio of crop damage area to sown area	农作物绝 收面积/播 种面积 The ratio of area of crop without yield to sown area	倒塌房屋/ 房屋总量 The ratio of collapsed building number of total number of house	损坏房屋/ 房屋总量 The ratio of damaged house to total number of house	直接经济损 失/生产总值 The ratio of direct economic loss to gross domestic product
南昌市 Nanchang City	5.70	0.04	5.11	0.30	0.01	0.05	0.04
景德镇市 Jingdezhen City	27.70	5.39	20.44	2.64	0.03	0.08	1.39
萍乡市 Pingxiang City	17.98	2.28	12.44	2.97	0.11	0.28	0.37
九江市 Jiujiang City	26.24	2.06	14.65	3.71	0.08	0.25	0.81
新余市 Xinyu City	19.44	0.30	34.19	0.73	0.06	0.13	0.15
鹰潭市 Yingtan City	17.91	0.53	14.22	2.07	0.01	0.11	0.33
赣州市 Ganzhou City	8.95	0.83	4.55	0.65	0.06	0.33	0.56
吉安市 Ji'an City	14.92	0.95	5.55	0.93	0.04	0.23	0.55
宜春市 Yichun City	20.91	0.21	13.36	1.10	0.04	0.19	0.66
抚州市 Fuzhou City	26.53	1.22	20.49	1.47	0.03	0.42	1.08
上饶市 Shangrao City	19.89	0.89	15.23	2.14	0.05	0.24	0.85

2 结果与分析

2.1 灾情综合指数法评价结果 根据公式(1)、(2)、(3)计

算出各设区市的灾情绝对指数(表 5)和灾情相对指数(表 6)。

表 5 江西省各设区市 2012—2016 年灾情绝对指数
Table 5 Disaster absolute index of cities of Jiangxi Province from 2012 to 2016

设区市 Cities	人口受灾指数 Population disaster index	农业受灾指数 Agricultural disaster index	房屋倒损指数 House loss index	经济损失指数 Economic loss index	综合指数 Comprehensive Index
南昌市 Nanchang City	0.35	0.12	0.04	0.09	0.15
景德镇市 Jingdezhen City	0.38	0.22	0.08	0.70	0.28
萍乡市 Pingxiang City	0.23	0.15	0.34	0.22	0.26
九江市 Jiujiang City	0.59	0.90	0.65	1.00	0.72
新余市 Xinyu City	0.14	0.05	0.12	0.09	0.11
鹰潭市 Yingtan City	0.10	0.16	0.03	0.14	0.09
赣州市 Ganzhou City	0.78	0.26	1.00	0.72	0.78
吉安市 Ji'an City	0.75	0.42	0.38	0.47	0.51
宜春市 Yichun City	0.46	0.61	0.42	0.70	0.50
抚州市 Fuzhou City	0.41	0.47	0.37	0.77	0.46
上饶市 Shangrao City	0.58	0.89	0.65	0.91	0.70

表 6 江西省各设区市 2012—2016 年灾情相对指数
Table 6 Disaster absolute index of cities of Jiangxi Province from 2012 to 2016

设区市 Cities	人口受灾指数 Population disaster index	农业受灾指数 Agricultural disaster index	房屋倒损指数 House loss index	经济损失指数 Economic loss index	综合指数 Comprehensive Index
南昌市 Nanchang City	0.05	0.10	0.10	0.03	0.07
景德镇市 Jingdezhen City	1.00	0.68	0.22	1.00	0.64
萍乡市 Pingxiang City	0.47	0.67	0.90	0.27	0.64
九江市 Jiujiang City	0.50	0.83	0.68	0.58	0.63
新余市 Xinyu City	0.19	0.44	0.44	0.11	0.28
鹰潭市 Yingtan City	0.21	0.52	0.14	0.24	0.23
赣州市 Ganzhou City	0.19	0.16	0.63	0.40	0.38
吉安市 Ji'an City	0.25	0.22	0.41	0.39	0.33
宜春市 Yichun City	0.18	0.32	0.39	0.48	0.33
抚州市 Fuzhou City	0.37	0.46	0.51	0.77	0.50
上饶市 Shangrao City	0.28	0.54	0.51	0.61	0.46

从灾情绝对指数上看,人口受灾指数以赣州市最高,农作物受灾指数以九江市最高,房屋倒损指数以赣州市最高,经济损失指数以九江市最高,排在前三位的分别是赣州市、九江市、上饶市,是较为突出的 3 个重灾设区市,排在后三位的是南昌市、新余市、鹰潭市(图 2)。从灾情相对指数上看,人口受灾指数以景德镇市最高,农作物受灾指数以九江市最高,房屋倒损指数以萍乡市最高,经济损失指数以景德镇市最高,排在前三位的是景德镇市、萍乡、九江市,排在后三位的是南昌市、新余市、鹰潭市(图 2)。通过分析评估结果,综合灾情指数评估法可以反映各设区市灾情分布规律。

2.2 灾情影响对比 综合考虑灾情综合绝对指数和综合相对指数,可以将灾情强度分为 4 种类型,即灾情总量较大且对本地产生较大影响、灾情总量较大但对本地影响较小、灾情总量较小但对本地影响较大以及灾情总量较小且对本地影响较小。以灾害综合绝对指数和综合相对指数的算数平均值作为坐标绘制而成,将 11 个设区市分为 4 类地区(图 3)。

1 类地区以灾情总量较大且对本地产生较大影响为特点,主要为上饶市、抚州市、九江市。2012—2016 年,国家民

政部和江西省本级对上饶市、抚州市、九江市启动四级及以上救灾应急响应次数分别为 8、9、8 次,且该 3 个设区市经济水平处中等,灾害对其影响相对较大。

2 类地区以灾情总量较大但对本地影响较小为特点,主要为吉安市、宜春市、赣州市。2012—2016 年,国家民政部和江西省本级对吉安市、宜春市、赣州市启动四级及以上救灾应急响应次数分别为 9、8、9 次,但该 3 个设区市经济水平处中等偏上,灾害对其影响相对较小。

3 类地区以灾情总量较小但对本地影响较大为特点,主要为萍乡市、景德镇市。2012—2016 年,国家民政部和江西省本级对萍乡市、景德镇市启动四级及以上救灾应急响应次数分别为 6、4 次,且该 2 个设区市的经济水平处中等偏下,灾害对其影响相对较大。

4 类地区以灾情总量较小且对本地影响较小为特点,主要为新余市、鹰潭市、南昌市。2012—2016 年,针对新余市、鹰潭市、南昌市 3 个设区市,国家民政部和江西省本级仅对鹰潭启动 1 次四级救灾应急响应,且南昌市经济发达,抗灾能力强,新余、鹰潭面积小、人口少,灾情对本地影响较小。

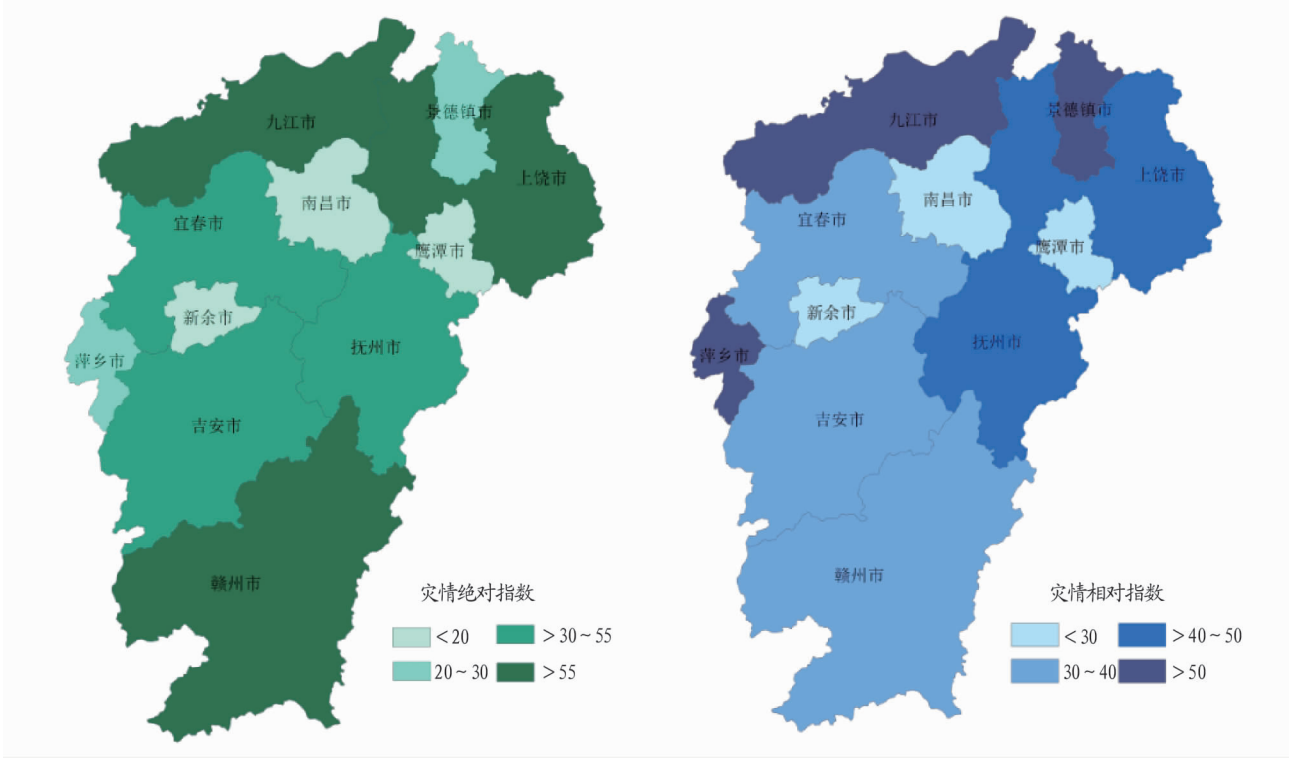


图2 江西省灾情强度分布
Fig.2 The distribution of disaster intension of Jiangxi Province

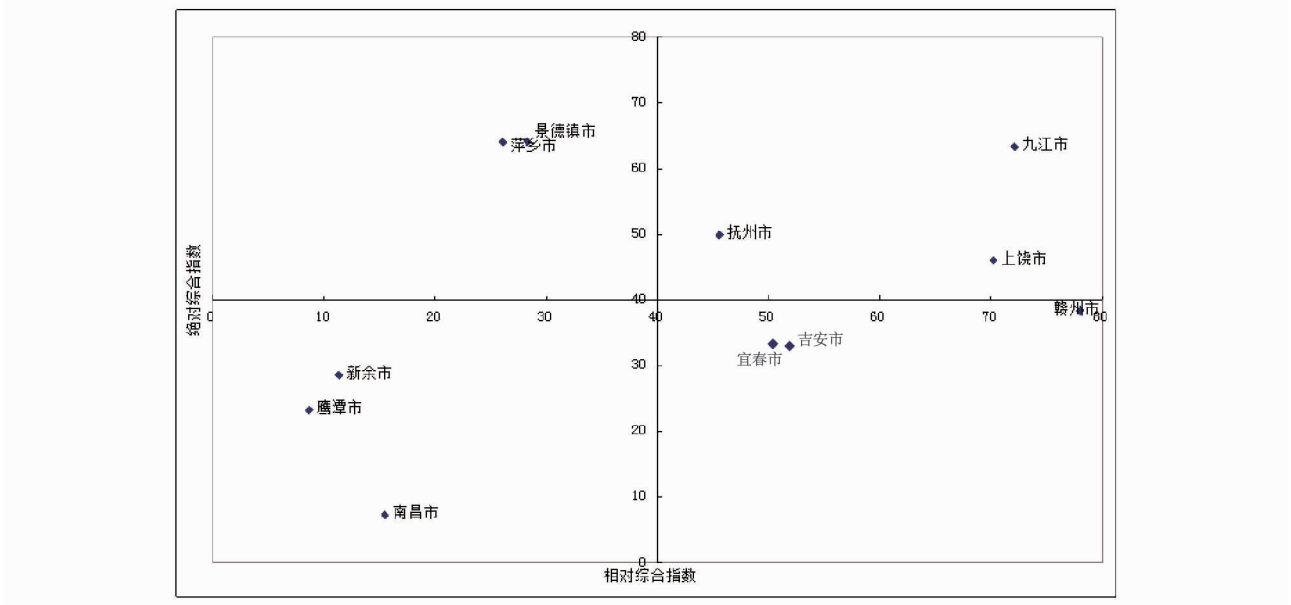


图3 江西省各设区市绝对灾情指数与相对灾情指数的对应关系
Fig.3 Corresponding relations between disaster absolute index and disaster relative index of cities of Jiangxi Province

3 结论与讨论

选择基本灾情指标以及相关的社会经济指标构建灾情指数,利用灾情综合指数法评估了 2012—2016 年江西省自然灾害灾情。同时,根据灾情绝对指数和灾情相对指数将江西省 11 个设区市分成 4 种类型,即灾情总量较大且对本地产生较大影响(上饶市、抚州市、九江市)、灾情总量较大但对本地影响较小(吉安市、宜春市、赣州市)、灾情总量较小但对本地影响较大(萍乡市、景德镇市)以及灾情总量较小且对本

地影响较小(新余市、鹰潭市、南昌市),评估结果与各设区市的实际情况相符,说明所给出的综合灾情指数法是评估区域灾情强弱的合理有效方法。综合灾情指数方法可快速、直观地将灾情反馈给决策者,为合理科学决策提供依据,使自然灾害评估工作更加具有可操作性。在下一步工作中,应考虑将该方法推广至单灾种、单个典型灾情案例和江西省各县(市、区)的灾害损失评价。

(下转第 83 页)

22 ~ 29 ℃ 顺利启动。

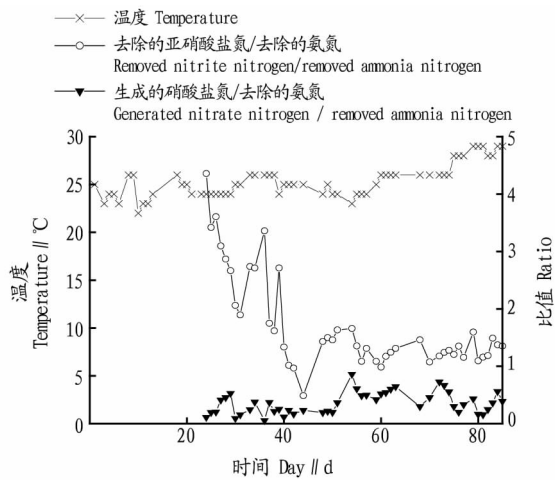


图 5 第 1 次启动温度和三氮比的变化

Fig.5 Variation of temperature and the ratio of removed $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, removed $\text{NO}_2^- - \text{N}$ and produced $\text{NO}_3^- - \text{N}$ at the first time

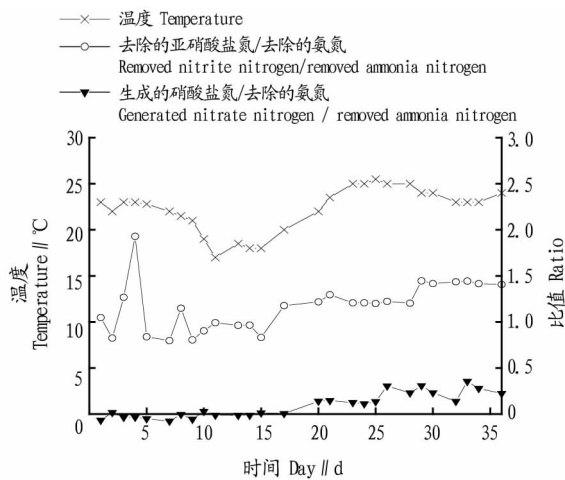


图 6 第 2 次启动温度和三氮比的变化

Fig.6 Variation of temperature and the ratio of removed $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, removed $\text{NO}_2^- - \text{N}$ and produced $\text{NO}_3^- - \text{N}$ at the second time

2.5 厌氧氨氧化反应器的二次启动及运行 第 2 次启动厌氧氨氧化反应器,温度为 17 ~ 25 ℃,平均温度为 22 ℃,图 6 显示厌氧氨氧化菌活性低,造成反应器氨氮和亚硝酸盐氮去除率低,温度逐渐上升后其活性也随之逐渐增强,反应器仅用 16 d 就恢复稳定运行状态,氨氮和亚硝酸盐氮平均去除率分别为 96.6% 和 90.1%,第 16 ~ 36 天三氮比平均为 1.00:1.32:0.21,成功恢复了厌氧氨氧化菌活性,表明厌氧氨氧化菌可以在 17 ~ 25 ℃ 表现出活性。

3 结论

(1) 接种普通活性污泥经过 75 d 运行,在常温 22 ~ 29 ℃ 下可以成功启动 UASB 厌氧氨氧化反应器,氨氮和亚硝酸盐氮的平均去除率分别达 93.5% 和 86.1%。

(2) 在 17 ~ 25 ℃ 下二次启动反应器,运行 16 d 可快速恢复厌氧氨氧化菌活性,氨氮和亚硝酸盐氮的平均去除率分别达 96.6% 和 90.1%。

参考文献

- [1] JETTEN M S, LOGEMANN S, MUYZER G, et al. Novel principles in the microbial conversion of nitrogen compounds[J]. *Antonie van Leeuwenhoek*, 1997, 71(1/2): 75-93.
- [2] MULDER A, VAN DE GRAAF A A, ROBERTSON L A, et al. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 1995, 16(3): 177-183.
- [3] VAN DE GRAAF A A, MULDER A, DE BRUIJN P, et al. Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process[J]. *Applied and environmental microbiology*, 1995, 61(4): 1246-1251.
- [4] JETTEN M S M, MARC S, PAS-SCHOONEN K T, et al. The anaerobic oxidation of ammonium[J]. *FEMS Microbiology Review*, 1998, 22(5): 421-437.
- [5] 沈李东, 郑平, 胡宝兰. 自然生态系统中的厌氧氨氧化[J]. *生态学报*, 2011, 31(15): 4447-4454.
- [6] CHEN H, HU H Y, CHEN Q Q, et al. Successful start-up of the anammox process: Influence of the seeding strategy on performance and granule properties[J]. *Bioresour. technology*, 2016, 211: 594-602.
- [7] WANG S H, GUO J B, LIAN J, et al. Rapid start-up of the anammox process by denitrifying granular sludge and the mechanism of the anammox electron transport chain[J]. *Biochemical engineering journal*, 2016, 115: 101-107.
- [8] 姚俊芹, 刘志辉, 周少奇. 温度变化对厌氧氨氧化反应的影响[J]. *环境工程学报*, 2013, 7(10): 3993-3996.
- [9] 艾热古力·拍孜拉, 姚俊芹, 周少奇. 常温下 UASB/生物膜厌氧氨氧化反应器脱氮试验[J]. *中国给水排水*, 2014, 30(5): 6-9.
- [10] 周少奇, 姚俊芹. UASB 厌氧氨氧化反应器启动研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2005, 24(6): 1-5.
- [11] 管勇杰, 于德爽, 李津, 等. 有机碳源作用下厌氧氨氧化系统的脱氮效能[J]. *环境科学*, 2017, 38(2): 654-664.

(上接第 68 页)

参考文献

- [1] VAN AALST M K, CANNON T, BURTON I. Community level adaptation to climate change: The potential role of participatory community risk assessment[J]. *Global environmental change*, 2008, 18(1): 165-179.
- [2] 马玉玲, 袁艺, 程姚英. 2005-2010 年中国自然灾害救助应急响应的区域分异特征[J]. *地理研究*, 2013, 32(1): 81-89.
- [3] 中共江西省委, 江西省人民政府. 关于推进防灾减灾救灾体制机制改革的实施意见[A]. 2017-06-30.
- [4] 邱玉琨, 王静爱, 邹学勇. 区域灾情评价模型[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(3): 48-53.
- [5] 袁艺. 2000-2007 年省级区域自然灾害灾情分析[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(1): 156-162.

- [6] 程立海, 唐宏, 周延刚, 等. 自然灾害强度的评估方法及应用: 基于综合灾情指数的研究[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(1): 46-50.
- [7] 张鹏, 张云霞, 孙舟, 等. 综合灾情指数——一种自然灾害损失的量化评价方法[J]. *灾害学*, 2015, 30(4): 74-78.
- [8] 刘兰芳, 邓美容, 廖梦思. 湖南省山洪灾害综合风险分析及安全减灾研究: 以 2006 年衡阳市山洪灾害为例[J]. *中国安全科学学报*, 2009, 19(10): 5-10.
- [9] 国家汶川地震专家委员会评估组. 汶川地震灾害范围评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 88-89.
- [10] 孟菲, 康建成, 李卫江, 等. 50 年来上海市台风灾害分析及预评估[J]. *灾害学*, 2007, 22(4): 71-76.
- [11] 民政部, 国家统计局. 自然灾害情况统计制度[Z]. 2016.