

基于灰色理论的黑龙省暴雨洪涝特征 分析及灾变预测^{*}

姚俊英¹, 朱红蕊¹, 南极月², 于宏敏¹

(1. 黑龙省气候中心, 黑龙省 哈尔滨 150030; 2. 黑龙省乌伊岭气象局, 黑龙省 伊春 153038)

摘 要: 基于灰色理论和气象灾害普查资料对黑龙省暴雨洪涝灾害时空分布特征进行了分析并进行了灾变预测。黑龙省暴雨洪涝灾害主要发生在 5-9 月, 其中 7 月损失最大; 1990 年以来暴雨次数虽然有所减少, 但暴雨洪涝造成的损失却明显增加; 黑龙省暴雨洪涝灾害可划分为严重洪涝区、重洪涝区、中洪涝区和轻洪涝区, 严重洪涝区位于松花江及其支流沿岸的大庆市、伊春市、齐齐哈尔市、佳木斯市和哈尔滨市。根据灰色灾变预测理论预测 2013 年出现严重暴雨洪涝灾害(全省农作物受灾面积 $\geq 500\,000\text{ hm}^2$ 、可比经济损失 $\geq 50\,000$ 万元)的可能性最大, 其次是 2016 年。

关键词: 暴雨洪涝; 可比经济损失; 灰色关联; 灾害分区; 灾变预测; 黑龙省

中图分类号: P429 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)01-0059-05

0 引言

为了适应气候变化, 减轻气象灾害损失, 保障经济建设和社会可持续发展, 认识气象灾害的时空分布特点和发生、发展规律, 结合当地社会经济发展水平进行气象灾害分析评估, 对指导防灾减灾有很重要的现实意义。国内有很多关于洪涝灾害年际变化规律的研究^[1-7], 赵晶等用分形理论探索了预测未来洪涝灾害趋势的方法, 并预测了我国洪涝灾害成灾面积的增加趋势^[1]; 王秋香、崔彩霞等采用灰色关联评估模型对新疆不同区域洪灾受灾面积变化趋势进行了分析^[5]。关于黑龙省洪涝灾害时空特征的分析很少, 虽然潘华盛等采用模糊综合理论对黑龙省 1995 年以前的洪水灾害进行过评价^[6], 但只分析了洪水灾害的时间演变规律, 而且最为典型的 1998 年特大洪水没有研究序列。

2008 年黑龙省气候中心对黑龙省 1984-2007 年的气象灾害进行了普查, 详细调查了以“县”为基本地域单元的暴雨洪涝、干旱、大风、冰雹、霜冻等 28 种气象灾害及农作物受灾面积、直接经济损失等 96 种因灾造成的各种影响类别的

历史气象灾情。本文基于 1984-2007 年气象灾害普查资料, 应用灰色理论对暴雨洪涝灾害进行了分析, 并提出了趋利避害的对策建议。

文中暴雨日数是指日降雨量等于大于 50 mm 的降雨, 暴雨洪涝灾害包括暴雨、洪水、山洪、涝灾、融雪性洪水、强降水引发的灾害。

1 研究资料和方法

1.1 资料

(1) 气象资料。黑龙省 82 个国家气象台站 1961-2007 年的地面观测数据资料。

(2) 社会经济资料。CPI 指数、GDP 数据来源于黑龙省国民经济和社会发展统计公报。

(3) 灾情资料。灾情数据为 1984-2007 年黑龙省以县为单位的气象灾情普查数据(受灾人口、受灾面积、直接经济损失等)。根据暴雨灾害损失的特点, 从黑龙省灾害普查资料中选取暴雨灾害受灾面积 $\geq 100\text{ hm}^2$, 且直接经济损失 ≥ 200 万元的个例 400 个, 每个个例资料完整, 可信度高, 能够代表暴雨洪涝灾害的基本情况。分析过程中把直接经济损失去除物价上涨因素化为可比经济损失。

^{*} 收稿日期: 2011-06-23

基金项目: 黑龙省气象局科技项目“黑龙省气象灾害分析预评估系统”; 国家气候中心项目“全国气象灾情普查”

作者简介: 姚俊英(1967-), 女, 黑龙省哈尔滨市人, 高级工程师, 主要从事气候评价、气候资源及气象灾害研究。

E-mail: yjy_008@163.com

1.2 关联度的计算方法

灰色系统理论着重研究概率统计、模糊数学所难以解决的“小样本”、“贫信息”不确定性问题，并依据信息覆盖，通过序列算子的作用探索事物运动的现实规律。气象灾情统计数据十分有限，而且现有数据灰度较大，再加上人为的原因，许多数据没有什么典型的分布规律，因此采用数理统计方法往往难以奏效。灰色关联分析方法弥补了采用数理统计方法作系统分析所导致的缺憾，它对样本量的多少和样本有无规律都适用，而且计算量小，十分方便，更不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况。近年来武艳娟、王秋香等把灰色理论应用于气象灾害分析^[1-3]。

对不同物理意义、不同计量单位和数据量纲的指标进行均一化处理，其均值化变换函数($f(x(k))$)如下：

$$f(x(k)) = x(k)/\bar{x}, \text{当 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x(k) \neq 0 \text{ 时。} \quad (1)$$

设 X 为均值化处理后的灰关联因子集， $x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \in X, x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)) \in X, i = 1, 2, \dots, m, \dots$ 令 $\Delta_{oi}(k) = |x_o(k) - x_i(k)|$ ，则：

$$r(x_o(k), x_i(k)) = (\min_i \min_k \Delta_{oi}(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_{oi}(k)) / (\Delta_{oi}(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_{oi}(k)), \quad (2)$$

称为关联系数，其中 ρ 称为分辨系数， $\rho \in (0, 1)$ ，常取 0.5。 $r(x_o, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r(x_o(k), x_i(k))$ 称为 x_i 关于 x_0 的关联度。

关联度大属重灾区，反之属轻灾区。暴雨洪涝分区与关联度的关系见表 1。

表 1 关联度与暴雨洪涝分区对应一览表

灾害分区	严重洪涝区	重洪涝区	中洪涝区	轻洪涝区
关联度	0.95 ~ 1.0	0.90 ~ 0.95	0.8 ~ 0.9	0.7 ~ 0.8

1.3 灰色灾变预测理论模型

灰色灾变预测实质上是异常值预测。什么样的值算作异常值，往往是人们凭借经验主观确定的。灰色灾变预测的任务是给出下一个或几个异常值出现的时刻，以便人们提前准备，采取对策。设原始序列 $X = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$ ，给定灾变值 ξ 的子序列 $X_\xi = (x(q(1)), x(q(2)), \dots, x(q(m))) \subset X$ 为灾变序列，则称 $Q^{(0)} = (q(1), q(2), \dots, q(m))$ 为灾变日期序列。灾变预测就是要通过对灾变日期序列的研究，寻找其规律性，预测以后若干

次灾变发生的日期，灰色系统的灾变预测是通过对灾变日期序列建立 GM(1,1) 模型实现的。 $x(k) + az^{(1)}(k) = b$ 为 GM(1,1) 模型的基本形式，其中：

$$z^{(1)}(k) = \frac{1}{2}[x(k) + x(k-1)]。 \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 评价因子的选取

首先选取受灾人口、直接经济损失、农作物受灾面积、可比经济损失、暴雨频次 5 个因子作为暴雨洪涝灾害的初始评价因子，对初始评价因子计算关联度(表 2)，从中选取关联度最大的前三个(暴雨发生频次、农作物受灾面积、可比经济损失)作为暴雨洪涝灾害的评价因子。表 2 也可以反映出可比经济损失要优于直接经济损失。

表 2 暴雨洪涝灾害评价因子的关联度

因子	受灾人口	直接经济损失	农作物受灾面积	可比经济损失	暴雨发生频次
关联度	0.963 153	0.941 643	0.989 140	0.981 857	0.980 511

2.2 时间变化

2.2.1 年际变化

1998 年，嫩江、松花江干流域夏季出现 150 年一遇的特大洪水，黑龙江省 63 个县市，840 个乡镇，553 万余人受灾。各种损失高达 425.76 亿元。农作物受灾面积、可比经济损失出现明显极值，其中可比经济损失达到 68 亿元，是平均值的 12 倍。由图 1 可见，黑龙江省暴雨频次、受灾面积及可比经济损失年代间有明显的波动起伏变化，三者大多数年份变化趋势一致。1980 年代中期到 1990 年代中期基本符合 3 年周期变化规律，1990 年代中期以后没有明显变化规律，但出现了极值年(1998 年)。

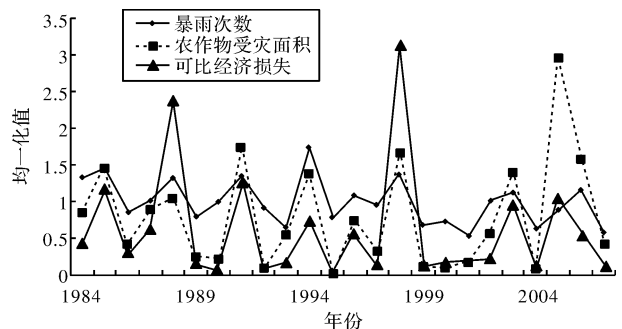


图 1 黑龙江省暴雨频次、受灾面积及可比经济损失均一化值年际变化

(图中将 1998 年农作物受灾面积、可比经济损失缩小 4 倍显示)

据统计, 1984 - 2007 年, 全省年平均暴雨次数为 48 站次, 呈现波动减少的趋势; 全省年平均农作物受灾面积为 36 万 hm^2 , 呈现波动增加的趋势, 每年约增加 7 000 hm^2 ; 全省年平均可比经济损失约为 5.5 亿元, 呈现波动增加的趋势, 每年约增加 380 万元。说明近 20 多年来暴雨次数虽然有所减少, 但暴雨洪涝造成的损失却明显增加。这和陈香等对福建暴雨洪涝的研究结论相似^[7], 表明暴雨洪涝灾害是由暴雨等致灾因子和承灾体共同形成的。致灾因子和成灾结果的错位, 归因如下: 黑龙江省社会经济发展迅速和土地利用的变化(2001 年 GDP 为 3 561 亿元, 2007 年达到 7 077 亿元, 翻一倍, 1984 年全省耕地面积为 890.9 万 hm^2 , 2003 年为 969 万 hm^2 , 2008 年为 1 191 万 hm^2), 增加了承灾体的脆弱性, 加重了灾情; 局地强降水造成的损失不容忽视, 如 2005 年 6 月 10 日, 黑龙江省牡丹江宁安市沙兰镇沙兰河上游山区突降暴雨, 瞬间形成洪峰, 引发泥石流, 死亡 117 人(其中学生 105 人), 损毁房屋 1 320 间, 农作物受灾面积 4 810.8 hm^2 , 绝产 1 256.6 hm^2 , 直接经济损失 2.8 亿元。而在离其最近的宁安气象站观测到的降水量只有

0.7 mm; 黑龙江省境内两大河流——松花江、嫩江上游内蒙、吉林境内的降水对流域洪涝灾害起到推波助澜的作用, 如 1998 年的特大洪水, 从黑龙江省暴雨次数来看并不是最多的年份, 除了因为黑龙江境内降水较集中外, 还与松花江、嫩江上游内蒙、吉林境内的暴雨集中多发有着密切关系。7 月下旬内蒙古东部、吉林西部、黑龙江西部持续降雨天气, 部分地区还降了暴雨, 其中 20 日吉林白城降雨量 114 mm; 24 日内蒙古巴林左旗义和村降雨量 139 mm; 25 日内蒙古扎兰屯市 5 km 降雨量 186 mm 之后, 26 日又降 111 mm^[8]。

2.2.2 年变化

黑龙江省暴雨洪涝灾害主要发生在 5 - 9 月份, 4 月和 10 月鲜有发生, 11 月到次年 3 月没有, 而以 6 - 8 月最为集中, 其中 7 月损失最大(表 3), 以县为单元一次灾害最大经济损失可达 42 300 万元。副高的活动和暖湿空气的大量输送是黑龙江省产生暴雨及其洪涝灾害的首要因素, 每年 6 - 8 月正是副热带高压北上靠近亚洲大陆东岸的时期, 此时黑龙江省夏季风最为强盛, 因此暴雨洪涝较为集中。

表 3 黑龙江省暴雨洪涝灾害以县为单元各月一次灾害损失情况汇总表

以县为单元一次灾害 平均损失数据	受灾人口/人	占总人口比例/%	直接经济损失/ 万元	占 GDP 比例/%	农作物受灾 面积/ hm^2	占耕地面积 比例/%
4 - 5 月	14 121	2.7	412	0.04	7 718	6.03
6 月	12 874	2.46	1 751	0.19	13 097	10.23
7 月	18 555	3.55	2 460	0.26	9 641	7.53
8 月	11 207	2.14	1 883	0.2	5 036	3.93
以县为单元一次灾害 平均损失数据	受灾人口/人	占总人口比例/%	直接经济损失/ 万元	占 GDP 比例/%	农作物受灾 面积/ hm^2	占耕地面积 比例/%
4 - 5 月	89 300	17.08	980	0.11	39 000	30.46
6 月	78 212	14.96	2 400	0.26	43 000	33.58
7 月	117 000	22.38	42 300	4.55	62 666	48.94

2.3 灾害分区

2.3.1 暴雨洪涝灾害分区

用暴雨洪涝评价因子(暴雨发生频次、农作物受灾面积、可比经济损失)依据灰色关联理论计算黑龙江省各地(13 个地市)洪涝灾害的关联度, 根据关联度大小把黑龙江省暴雨洪涝灾害分为严重洪涝区、重洪涝区、中洪涝区、轻洪涝区(表 1)。黑龙江省各地洪涝灾害关联度及分区详见表 4, 不同程度灾害分区的空间分布图详见图 2。

2.3.2 分区讨论

严重洪涝区: 严重洪涝区包括大庆市、伊春市、齐齐哈尔市、佳木斯市和哈尔滨市。都位于

松花江及其支流沿岸(图 2), 是流域洪水的重灾区, 而且是黑龙江省经济发达、文化繁荣、人口密集的地区, 洪涝灾害的承灾体极其脆弱。其中齐齐哈尔市每年因暴雨洪涝造成的经济损失达 1 亿元, 农作物受灾面积达 8 万 hm^2 多。2003 年 7 月 26 - 28 日, 齐齐哈尔市部分地区降特大暴雨, 乌裕尔河流域平均降雨 71 mm, 嫩江流域平均降雨 49 毫米, 齐齐哈尔、富拉尔基、甘南、依安等地降水均超过 100 mm。依安、甘南、拜泉、龙江、富裕、嫩江、克山等地出现内涝。

重洪涝区: 包括牡丹江市、绥化市、鸡西市。牡丹江市和鸡西市位于黑龙江省东南部, 最易受

到南来气流影响，局地暴雨洪涝灾害频发，也是黑龙江省泥石流和山体滑坡灾害易发区；绥化市紧邻哈尔滨市，位于松嫩平原腹地，是重要的商品粮基地，部分县市位于松花江及其支流沿岸。因此严重洪涝区的承灾体也非常脆弱。其中牡丹江市每年因暴雨洪涝造成的经济损失达 2 千多万元，农作物受灾面积约 1.5 万 hm^2 。2004 年 5 月 17–22 日黑龙江省东部连续降水，其中东宁、绥芬河降水量超过 100mm，出现洪涝灾害，东宁、绥芬河、抚远受灾农田 365.9 hm^2 ，冲走地栽木耳 22 万袋，冲坏桥梁 4 座，冲走牛 6 头，冲走猪 100 多头，部分桥梁、公路被冲毁。

表 4 各地暴雨洪涝灾害关联度及分区等级

地区	关联度	分区等级	地区	关联度	分区等级
大庆市	0.991	严重洪涝区	鸡西市	0.926	重洪涝区
伊春市	0.970	严重洪涝区	双鸭山市	0.886	中洪涝区
齐齐哈尔市	0.967	严重洪涝区	鹤岗市	0.865	中洪涝区
佳木斯市	0.953	严重洪涝区	七台河市	0.854	中洪涝区
哈尔滨市	0.952	严重洪涝区	黑河市	0.800	轻洪涝区
牡丹江市	0.948	重洪涝区	大兴安岭地区	0.747	轻洪涝区
绥化市	0.930	重洪涝区			

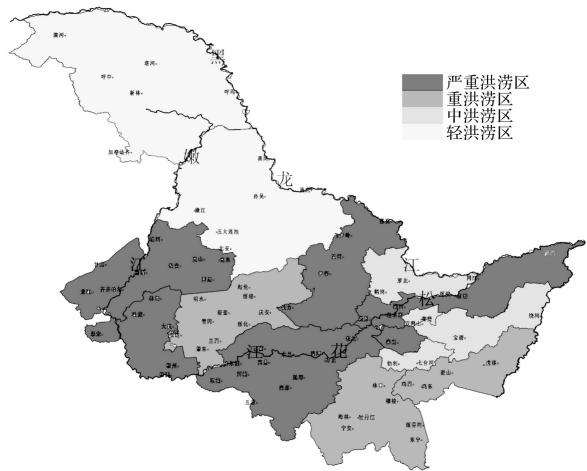


图 2 黑龙江省暴雨洪涝灾害分区图

中洪涝区：包括双鸭山市、鹤岗市、七台河市。位于黑龙江省东部三江平原地区，不仅是商品粮基地，也是重点产煤城市，是黑龙江省的煤电化基地。七台河市和双鸭山市每年因暴雨洪涝造成的经济损失分别为 400 万元和 700 万元左右，农作物受灾面积分别为 1 万 hm^2 和 7 000 万 hm^2 。2005 年 7 月 28 日 5 时至 29 日 5 时鹤岗市区降水量 153.8 mm，日降水量突破历史极值，受淹民房 3 690 间，冲毁桥梁 21 座、桥涵 12 座，受灾人口 5.4 万人，受灾牲畜 6 422 头，直接经济损失约

4 000 万元。

轻洪涝区：包括黑河市、大兴安岭地区。位于黑龙江省最北部，遍布茂密的大森林。暴雨发生的频次较少，农业种植面积非常小，而且人口密度相对稀疏，因此暴雨洪涝对该区的影响较轻。2006 年 7 月 19–24 日，黑河市普降大到暴雨，境内所有的中小河流全部出槽，所有县(市)、区均不同程度的遭受洪涝灾害。因洪水阻断光缆，部分通信中断；洪水冲毁桥梁 700 多座、毁坏公路路面 322km。

2.4 灾变预测

把满足下面两个条件作为重灾年的标准，①受灾面积 $\geq 500\,000\text{ hm}^2$ ；②可比经济损失 $\geq 50\,000$ 万元。则满足条件①的年份有 1985 年、1991 年、1998 年、2003 年、2005 年、2006 年；满足条件②的年份有 1985 年、1988 年、1991 年、1998 年、2003 年、2005 年。根据灰色灾变理论预测灾变年结果如表 5 所示。根据预测，最近一个满足条件①的年份为 2013 年，同时满足条件②的年份也是 2013 年。说明根据灾变预测 2013 年出现严重暴雨洪涝灾害的可能性最大，其次是 2016 年。

表 5 暴雨洪涝灾变年预估结果

项 目	第 1 预 第 2 预		测 值 测 值					
满足条件①的年份	1985	1991	1998	2003	2005	2006	2013	2018
满足条件①的序号	2	8	15	20	22	23	30	35
满足条件②的年份	1985	1988	1991	1998	2003	2005	2016	2026
满足条件②的序号	2	5	8	15	20	22	33	43
同时满足两个条件的年份	1985	1991	1998	2003	2005		2013	2021
同时满足两个条件的序号	2	8	15	20	22		30	38

3 结论与讨论

(1)1990 年以来暴雨次数虽然有所减少，但暴雨洪涝造成的损失却明显增加。致灾因子和成灾结果的错位，归因于黑龙江省社会经济发展迅速和土地利用的变化、局地强降水及松嫩流域强降水的影响，增加了承灾体的脆弱性，加重了灾情。

(2)黑龙江省暴雨洪涝灾害主要发生在 5–9

月份, 6-8 月最为集中, 其中 7 月损失最大。这主要是因为每年 6-8 月正是副热带高压北上靠近亚洲大陆东岸的时期, 此时黑龙江省夏季风最为强盛, 因此暴雨洪涝较为集中。

(3) 根据灰色关联理论把黑龙江省划分为严重洪涝区、重洪涝区、中洪涝区和轻洪涝区, 严重洪涝区位于松花江及其支流沿岸的大庆市、伊春市、齐齐哈尔市、佳木斯市和哈尔滨市, 经济发达、文化繁荣、人口密集, 洪涝灾害的承灾体极其脆弱。

(4) 根据灰色灾变预测理论预测 2013 年出现严重暴雨洪涝灾害(全省农作物受灾面积 $\geq 500\,000\text{ hm}^2$ 、可比经济损失 $\geq 50\,000$ 万元)的可能性最大, 其次是 2016 年。虽然预测结论可能和实际情况有一定偏差, 但由于在全球气候变暖大气候背景下气象灾害频繁发生, 而且损失逐年加重。有关部门还是应该重视这一结论, 加强防范措施。气象部门要提高气象预报精度和预测、监测水平, 建成全省气象灾害立体监测系统和气象灾害预警预报系统。

4 对策建议

(1) 气象部门应加强气象灾害风险研究, 会同有关部门编制气象灾害防御规划, 各级政府应当按照气象灾害防御规划, 加强气象灾害防御设施

建设, 做好气象灾害防御工作。要严格实施气象灾害风险和气候可行性论证制度, 通过科学的规划设计, 使人居环境和重要战略基础设施远离灾害多发区、易发区和自然环境脆弱区。

(2) 加强灾害预报、预警, 制定气象灾害防御预案和应急计划(包括人员疏散)等。

(3) 加强公众气象灾害防御意识的教育, 鼓励公众购买洪涝财产和人寿保险, 建立社会保障制度。

参考文献:

- [1] 赵晶, 徐建华. 1950-1997 年我国洪涝灾害成灾面积的分形特征研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 31-35.
- [2] 刘会山, 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.
- [3] 姜逢清, 胡汶骥. 近 50 年来新疆气候变化与洪旱灾害扩大化[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 35-40.
- [4] 董文玉, 胡江, 杨胜发. 新疆洪水成因及特性分析[J]. 重庆交通学院学报, 2004, 23(2): 118-122.
- [5] 王秋香, 崔彩霞, 姚艳丽. 新疆不同区域洪灾受灾面积变化趋势及多尺度分析[J]. 地理学报, 2008, 63(7): 769-779.
- [6] 潘华盛, 张桂华, 董淑桦. 黑龙江省洪水灾害等级评估模型-模糊综合评价法[J]. 黑龙江气象, 2000(2): 1-4.
- [7] 陈香, 王静爱, 陈静. 福建暴雨洪涝时空变化与区域划分的初步研究[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(6): 1-7.
- [8] 中国气象局国家气候中心. 98 大洪水与气候异常[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 25-26.

Analysis of Flood and Disaster Forecast in Heilongjiang Province Based On Grey Theory

Yao Junying¹, Zhu Hongrui¹, Nan Jiyue² and Yu Hongmin¹

(1. Climate Center of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China; 2. Meteorological Bureau of Wuyiling, Yichun 153033, China)

Abstract: Based on the grey theory and census data of meteorological disasters in Heilongjiang province, the spatial and temporal distribution characteristics of rainstorm and flood disasters are analyzed and hazards are predicted. Heavy floods in Heilongjiang province mainly occur in May to September, and the greatest losses are in July. Although the number of heavy rainfall has decreased since 1990, the losses have increased significantly. Most serious flood zones, serious flood zones, flood zones and light flood zones are divided by use of the grey theory. The most serious flood zones are located in Daqing, Yichun, Qiqihar, Jiamusi and Harbin on the both sides of the Songhua River and its tributaries. It is predicted, by grey disaster forecast theory, that there is a high probability of storm flood in 2013, which would affect crops area of $\geq 500\,000\text{ hm}^2$ and result in the comparable economic losses of ≥ 500 million yuan in the whole province. The next predicted disaster year is 2016.

Key words: flood; comparable economic losses; grey theory; hazard zoning; disaster forecast; Heilongjiang province