

## Risk Assessment of Crops Induced by Flood in the Three Northeastern Provinces of China on Small Space-and-Time Scales

Sijian Zhao<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Digital Agricultural Early-warning Technology, MOA, Agricultural Information Institute of CAAS, No. 12, Zhongguancun South Street, Haidian District, Beijing, 100081, China

<sup>2</sup>Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing Normal University, No.19 Xijiekouwai Street, Haidian District, Beijing, 100875, China

E-mail: scanzhao@hotmail.com

Qiao Zhang

Key Laboratory of Digital Agricultural Early-warning Technology, MOA, Agricultural Information Institute of CAAS, No. 12, Zhongguancun South Street, Haidian District, Beijing, 100081, China

Received 13 August 2012; accepted 26 September 2012

### Abstract

**[Purpose]** Crop's risk assessment induced by natural disasters needs to develop in the fine scale. It is required that risk assessment can be performed on county-level space scale and month-based time scale. But with the thinning of space and time scales, disaster samples would decline greatly and severely limit the usage of risk assessment method based on the statistic of samples. Therefore, in this paper, a new method on base of metrological data and crop's vulnerability models was proposed to assess risk variability among months on county scale. **[Methods]** Since the weather stations cannot cover all the counties, the IDW method was used to interpolate the daily rainfall for each county by its nearby 3 stations. Moreover, based on the flood record data, the vulnerability function between crop's flood-affected area and average daily rainfall in a storm was regressed. Using the information diffusion model of nonparametric kernel density, the probability density function of average daily rainfall in a storm for each month of each county was fitted. Finally, the expected disaster-affected area of crops as risk measure for each month of each county was calculated on the combination of probability function and vulnerability function. **[Results]** Through the case study in three northeastern provinces of China, a serial of risk maps on county-level and month-level scales were produced to be used to recognize the rules of risk variability in space and time.

**Keywords:** Crop; Flood; Risk; County-level scale; Month-level scale

## 小时空尺度下的东北三省农作物洪涝风险评估

赵思健<sup>1,2</sup> 张峭<sup>2</sup>

1. 中国农业科学院农业信息研究所, 农业部智能化农业预警技术重点开放实验室, 北京, 100081

2. 北京师范大学, 民政部/教育部应急与减灾管理研究院, 北京, 100875

**摘要:** (目的) 农作物灾害风险评估逐步向尺度精细化的方向发展, 评估结果要求在空间上达到县级尺度, 在时间上达到月级尺度。然而, 随时空尺度的细化, 灾害样本数量急剧减少, 严重限制了基于样本统计的风险评估方法的运用。为此, 本文提出一种气象数据与农作物洪涝脆弱性相结合的方法, 以东北三省为研究区开展以县和月为单位的小时空尺度下农作物洪涝风险评估。(方法) 由于气象站点无法覆盖所有县级行政区, 利用与县级行政区最临近的 3 个气象站点日降雨数据, 采用反距离权重法 (IDW) 插值出各县的日降雨数据; 收集农作物洪涝灾情数据, 回归出东北三省农作物洪涝受灾率与过程平均降雨量之间的脆弱性函数; 分县分月提取过程平均降雨量, 构建非参数核密度的信息扩散模型拟合降雨量的概率分布; 最后, 综合概率分布与脆弱性函数, 计算出分县分月的农作物洪涝期望受灾率。(结果) 通过实例应用, 制作出东北三省县级尺度下 4 至 9 月的农作物洪涝风险图, 并对风险时空差异特征进行剖析。

**关键词:** 农作物, 洪涝, 风险, 县级尺度, 月尺度

## 1. 引言

我国是一个农业大国，农业是一个安天下、稳民心的基础产业，在我国受到了越来越高的重视。但同时，我国又是一个自然灾害多发、频发的国家。与世界平均水平相比，我国自然灾害发生频率高出了 18 个百分点。据联合国开发计划署的标准，我国农业是世界上遭遇灾害最频发、受灾面积最广和灾害损失最严重的国家之一。

作为灾害防范的一种重要手段，农业生产灾害风险评估是预测与量化未来自然灾害事件对农业生产可能造成的损失程度，是指导农业生产灾害风险管理的一项重要工作，逐渐受到了人们的重视。在我国，农业生产灾害风险评估工作开展得较晚，在方法上分为基于指标体系的评估法与基于损失统计的评估法。其中，基于损失统计的评估法运用得较为广泛，它是在损失数据样本的基础上经统计建模后计算出代表风险的某一定量指标，属于纯定量的方法。根据损失数据源的不同，又可分为基于单产损失<sup>1,2</sup>与基于灾情损失<sup>3,4</sup>的评估法。在时空尺度上，绝大多数的风险评估研究集中在中大尺度上，空间上以省级、市级行政区为单元，时间上以年为单元。以县级行政区和以月为单位的小时空尺度风险评估常常因为损失样本的严重不足甚至完全缺失，无法实施统计建模而被放弃。然而，小时空尺度的风险评估能更加有效地识别出高风险区与高风险期，为实现更有针对性的风险管理提供强有力的支撑，值得深入探索。

为此，本研究尝试在有限的灾情数据上结合气象数据，实现以县和以月为单位的小时空尺度下农作物灾害风险评估，并探讨小时空尺度下的评估结果所包含的风险时空差异特征。

## 2. 研究区概况

黑龙江、吉林和辽宁俗称东北三省，位于 115°32'E 至 135°10'E，38°43'N 至 53°25'N 之间（如图 1 所示），土地总面积占全国土地总面积的 8.33%，耕地面积占全国耕地总面积的 16.68%<sup>5</sup>，2011 年粮食产量达到 2155 亿斤，占全国粮食产量的 18.9%<sup>6</sup>，主要粮食作物包括玉米、大豆、春小麦、水稻等，是我国重要的粮食生产基地。同时，东北三省又是我国受全球气候变化影响最显著的地区之一<sup>7</sup>，气候变化加剧了暴雨洪涝灾害事件的发生，使东北三省成为洪涝的多发区，严重阻碍了区域农业的发展。作为重要的产粮基地，防范洪涝灾害风险，保障东北三省的农业发展及粮食生产安全对于保障我国的整体粮食安全有着极其重要的战略意义。

基于上述背景，本研究选择东北三省为研究区，以洪涝灾害作为影响农作物生产的代表性灾种，开展以县和以月为单位的小时空尺度下农作物洪涝风险评估。

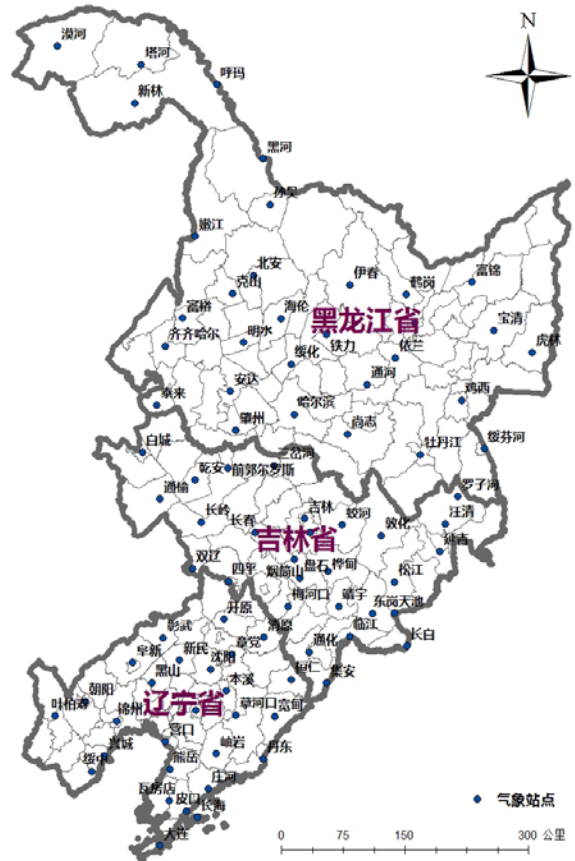


图 1 东北三省县级行政区划及气象站点分布

## 3. 数据收集与处理

### 3.1. 数据收集

本研究收集了三类分析数据：（1）农作物洪涝灾情数据，（2）农作物种植面积数据和（3）东北三省气象站点日降雨量数据。

农作物洪涝灾情数据来源于多种渠道，包括中国气象灾害大典、地方气象局统计资料和地方农业局统计资料等。灾情数据总量达 1871 条（如表 1 所示），在时间序列上从 1984 年至 2009 年，空间尺度上精确到县级，时间尺度上精确到年月日，灾情统计的数据指标包括了农作物受灾面积（公顷）、成灾面积（公顷）和绝收面积（公顷）。其中，成灾面积与绝收面积数据存在严重的缺失，因此在后续的分析中主要运用受灾面积作为农作物灾情损失指标。农作物洪涝灾情数据具体格式如表 2 所示。

农作物种植面积数据来源“中国农业部县级农村经济统计数据库”，时间序列上从1981年至2011年，空间尺度上精确到县级，种植面积单位为公顷。

气象站点日降雨数据来源“中国气象科学数据共享服务网” (<http://cdc.cma.gov.cn/>)。整个东北三省共设86个气象站点（站点分布如图1所示），降雨量数据在时间序列上是从1959年至2011年，在时间尺度上精确到日，单位为mm。

表1. 东北三省农作物洪涝灾情数据统计（1984-2009）

省份	洪涝记录（条）
黑龙江	894
吉林	567
辽宁	410
合计	1871

表2. 东北三省农作物洪涝灾情记录（1984-2009）

区县	年	起始		终止		受灾面积 (公顷)
		月	日	月	日	
嘉荫县	1984	6	15	6	18	28000
铁力市	1985	7	27	7	28	1781.3
五营区	1995	7	23	7	24	340
...	...	...	...	...	...	...

### 3.2. 数据处理

#### 3.2.1. 农作物洪涝受灾率计算

假设某县发生的某一次洪涝灾害造成农作物受灾面积  $a$ ，对应县相应年份的农作物种植面积  $s$ ，则此次农作物洪涝受灾率  $y$  计算如下：

$$y = a / s \quad (1)$$

选取农作物洪涝受灾率作为农作物灾情指数。

#### 3.2.2. 县级行政区日降雨量插值计算

图1可以看出，东北三省全境范围内86个气象站点无法完全覆盖182个县级行政区。利用气象站点日降雨量数据直接评价县级行政区日降雨量显得比较粗糙。为了体现出县级行政区日降雨量的差异，可先查找与县级行政区中心点最近的3个气象站点，再利用这3个站点的日降雨数据，采用反距离权重法（IDW）<sup>8</sup>插值获得县级行政区的日降雨量。

图2示意了县级行政区日降雨量插值过程。假设待计算的县级行政区中心点为  $c$ ，查找到与该中心点最近的3个气象站点（ $m_k, k=1,2,3$ ），并计算

出中心点与3个气象站点的距离（ $d_k, k=1,2,3$ ）后，县级行政区日降雨量  $i_c$ （mm）的IDW插值计算如下：

$$i_c = \frac{\sum_{k=1}^3 \left( i_k \cdot \frac{1}{d_k^2} \right)}{\sum_{k=1}^3 \frac{1}{d_k^2}} \quad (2)$$

其中， $i_k$ （ $k=1,2,3$ ）表示3个气象站点的日降雨量（mm）。

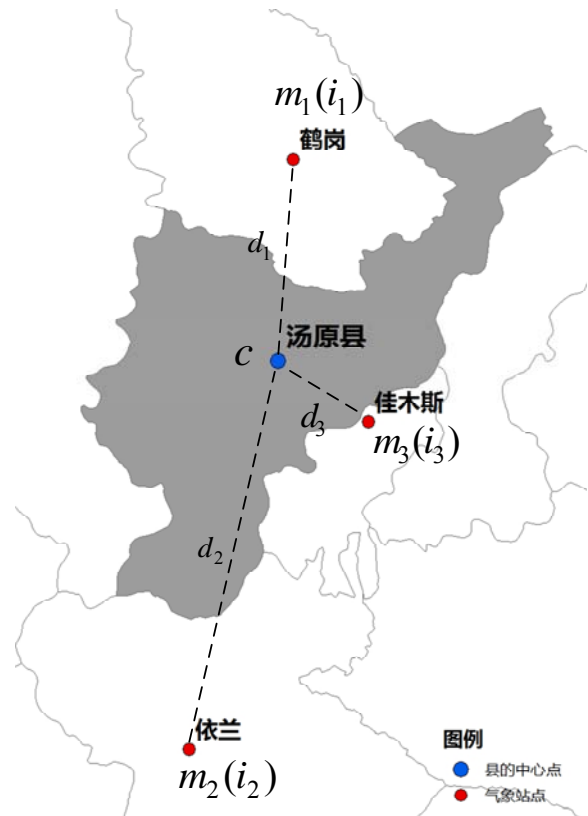


图2 县级行政区日降雨量插值示意

## 4. 农作物洪涝风险评估

### 4.1. 农作物洪涝脆弱性分析

承灾体是致灾因子作用的对象，脆弱性用于衡量承灾体遭受损害的程度，是致灾因子与灾情联系的桥梁<sup>9</sup>。当承灾体的脆弱性侧重于因灾造成的灾情水平方面时，通常可用致灾因子（ $h$ ）与成害（ $d$ ）之间的关系曲线或方程式表示，即  $V = f(h, d)$ ，又叫做脆弱性曲线或灾损（率）曲线，用来衡量不同的致灾因子强度与相应损失（率）之间的关系。在本研究中，洪涝灾害的致灾

因子是强降雨，承灾体是农作物，农作物洪涝脆弱性就要建立降雨与农作物受灾率之间的曲线（函数）关系。

洪涝通常是发生在一次强降雨过程中。所谓一次强降雨过程是指一日或连续多日降雨量超过某一阈值  $i_0$  的阶段性强降雨（如图 3 所示）。根据经验，阈值  $i_0$  可取 10mm。描述一次强降雨过程的数据指标有过程降雨量极值  $i_p$ （mm）、过程降雨总量  $i_t$ （mm）、过程平均降雨量  $i_m$ （mm）和降雨持续时间  $d$ （日）。其中，过程平均降雨量  $i_m$  与过程降雨总量  $i_t$  之间关系表示如下：

$$i_m = i_t / d \quad (3)$$

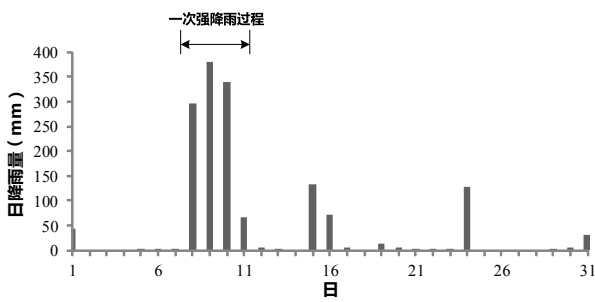


图 3 一次强降雨过程图示

利用收集的洪涝灾情数据，根据每条灾情记录中洪涝发生时间提取对应降雨过程的数据指标（ $i_p$ ， $i_t$  和  $i_m$ ），并进行农作物洪涝受灾率与各数据指标之间的回归分析，分析发现过程平均降雨量  $i_m$  与受灾率  $y$  之间的相关性最大。因此，本研究选择过程平均降雨量作为致灾因子指标，借助回归分析（其中线性回归拟合效果最佳）建立东北三省农作物洪涝脆弱性函数，即：

$$y = 0.0016 \cdot i_m - 0.0283 \quad (4)$$

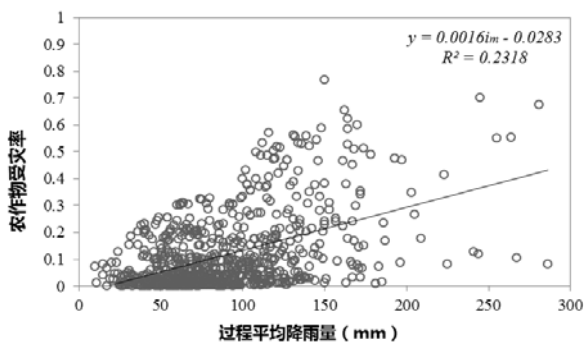


图 4 过程平均降雨量与农作物洪涝受灾率的线性回归

图 4 是东北三省过程平均降雨量与农作物洪涝受灾率线性回归分析结果。结果可以看出，相关系

数  $R^2$ （0.2318）比较低。究其原因，一方面是洪涝灾害本身存在较强的随机性，受随机性影响相关系数不会太高；另一方面，一个地区的农作物洪涝受灾率不仅与强降雨有密切关系，还与该地区的地形、地貌（河流和植被）等环境因子有关系，例如地形低洼、河流密集和植被稀疏的地区易发生洪涝，农作物受灾率会较高，因此仅用降雨量进行一元回归导致相关系数不高。但从图 4 可以看出，回归曲线还是能够客观、有效地反映过程平均降雨量与受灾率之间的发展趋势，因此被用于后续的风险评估中。

## 4.2. 分县分月过程平均降雨量概率分布拟合

### 4.2.1. 洪涝灾害月发生频次分析

在不考虑洪涝灾害强度及造成损失的前提下，先利用收集的洪涝灾情数据对洪涝灾害不同月份上的发生频次进行统计，结果如图 5 所示。结果显示，东北三省历史上有 98% 以上的洪涝灾害发生在 4 至 9 月间，且 6、7 和 8 月是洪涝的频发期，其他月份的洪涝可忽略不计。因此，下面仅对 4 至 9 月（6 个月）的过程平均降雨量概率分布进行分月拟合。

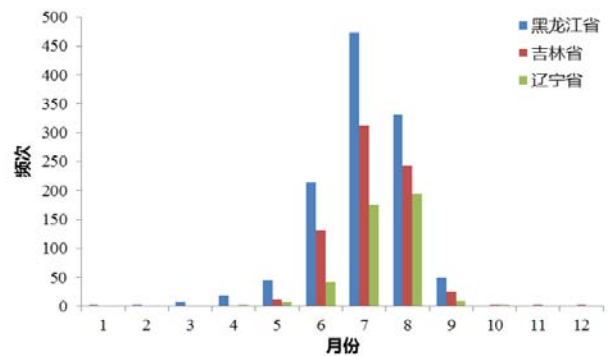


图 5 洪涝灾害月发生频次统计

### 4.2.2. 过程平均降雨量概率分布的非参数拟合

分布拟合的方法通常有参数估计法与非参数估计法。参数估计法虽运用较广，但要求有先验的分布函数、样本容量足够大且已知关于总体分布的有关信息，而实际应用中往往很难获得总体分布信息，选择先验分布函数的过程也比较繁琐。相比之下，非参数估计法不限制样本母体的分布形式，估计结果相对稳定。为此，本文采用非参数核密度的信息扩散模型<sup>10</sup>进行降雨概率分布的拟合。

首先，利用县级行政区的日降雨数据，分县分月（仅 4 至 9 月）提取过程平均降雨量样本，即：

$$I_{m,ct} = \{i_{m,1}, i_{m,2}, \dots, i_{m,k}, \dots, i_{m,l}\}_{ct} \quad (5)$$



其中,  $c$  表示县级行政区单元,  $t$  表示月份,  $I_{m,ct}$  表示县级行政区月份上过程平均降雨量样本集合,  $i_{m,k}$  表示集合中的过程平均降雨量样本,  $l$  表示集合中的样本个数。

假设过程平均降雨量的样本空间  $U$  为  $[0,300]$ , 并将样本空间分成  $s$  等分, 获得  $U$  的离散论域:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\} \quad (6)$$

对样本集合  $I_m$  中的任一个样本  $i_{m,k}$ , 利用正态分布规律扩散到  $U$  中的所有点  $u_b$ , 即:

$$f_k(u_b) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(i_{m,k} - u_b)^2}{2h^2}\right] \quad (7)$$

其中,  $h$  称为扩散系数, 即组间宽度参数, 这个参数决定了密度函数的平滑程度,  $h$  越大密度越平滑, 选择一个合适的组间宽度参数是非参数核密度估计的重要步骤。在实践中, 选择组间宽度的方法有交叉验证法、Silverman 的“经验法则”和插入法<sup>11</sup>。本文选择 Silverman 的“经验法则”, 根据 Barry G K 和 Alan P K 的工作<sup>12</sup>, 优化的参数  $h$  为:

$$h = \frac{1.06\hat{\sigma}}{l^{1/5}} \quad (8)$$

其中,  $\hat{\sigma} = \min\left\{s, \frac{Q}{1.34}\right\}$  (9)

$\hat{\sigma}$  为样本标准差,  $Q$  为四分位数间距, 即第 75 百分位点样本值减去第 25 百分位点样本值。在实际工作中, 由于数据常常偏离正态分布, 式 (8) 中的范围因子 1.06 降到 0.9 效果较好<sup>13</sup>。

$$\text{令: } C_k = \sum_{b=1}^s f_k(u_b) \quad (10)$$

$$\text{则: } \mu_{i_{m,k}}(u_b) = \frac{f_k(u_b)}{C_k} \quad (11)$$

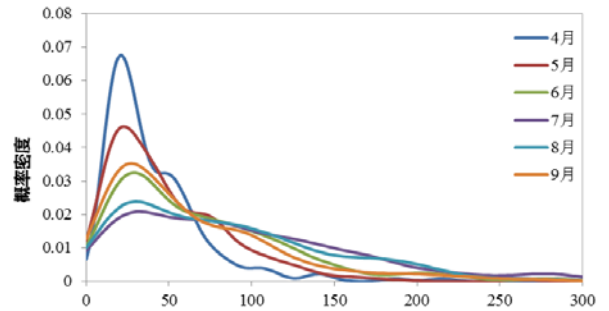
$$\text{令: } q(u_b) = \sum_{k=1}^l \mu_{i_{m,k}}(u_b) \quad (12)$$

$$\text{再令: } Q = \sum_{b=1}^s q(u_b) \quad (13)$$

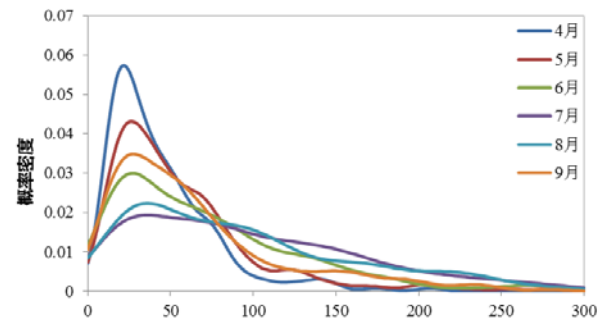
$$\text{易知: } p(u_b) = \frac{q(u_b)}{Q} \quad (14)$$

就是样本空间  $U$  中样本点  $u_b$  的频率值, 可作为概率的估计值。

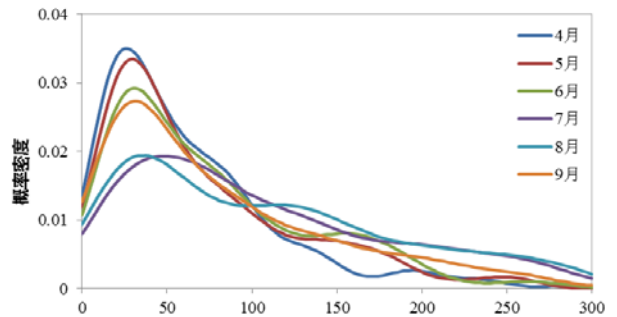
利用分县分月的过程平均降雨量样本, 采用 Silverman 的“经验法则”计算出最优组间宽度  $h$ , 取  $s = 100$  运用非参数核密度的信息扩散模型, 逐一拟合各县各月的过程平均降雨量核密度。图 6 是地处东北三省中心的三个市 (铁力市、九台市和灯塔市) 的过程平均降雨量核密度拟合图。图中可以看出, 三个省 7、8 月的过程平均降雨量大于其他月份。从 6 个月过程平均降雨量分布的总体趋势上看, 辽宁省大于吉林省和黑龙江省, 这与辽宁省临近渤海受海洋影响降雨量丰富的事实相符。



(a) 黑龙江省铁力市



(b) 吉林省九台市



(c) 辽宁省灯塔市

图 6 分月过程平均降雨量概率拟合图

### 4.3. 分县分月农作物洪涝风险评估

#### 4.3.1. 风险评估

依据风险的定义，农作物洪涝风险可以表达为洪涝造成农作物的期望受灾率。根据该定义，分县分月的农作物洪涝风险  $r_{ct}$  可表达为：

$$r_{ct} = E_{ct}(Y) = \left( \sum_{b=1}^s p(u_b) \cdot y(u_b) \right)_{ct} \quad (15)$$

其中， $c$  表示县级行政区单元， $t$  表示月份， $E$  表示受灾率  $Y$  的期望， $p$  表示过程平均降雨量  $u_b$  出现的概率， $y$  表示过程平均降雨量  $u_b$  造成的受灾率。利用分县分月的过程平均降雨量核密度统计结果 (14)，结合农作物洪涝脆弱性函数 (4)，采用公式 (15) 便可计算出东北三省分县分月的农作物洪

涝风险，并以风险图方式进行展示，如图 7 所示。

#### 4.3.2. 风险时空差异分析

从图 7 可以看出，东北三省农作物洪涝风险在时空维上存在显著差异。

4 月份，东北三省的农作物洪涝风险总体水平较低，风险均值在 0.09 至 0.14 之间（黑龙江省 0.091，吉林省 0.105，辽宁省 0.140）。在黑龙江省，除 16 个县级行政区风险值大于 0.10 外，剩余的 70 个县级行政区的风险值处在 0.05 至 0.10 之间，风险值排在前 2 位是齐齐哈尔市市辖区 (0.1227) 和泰来县 (0.1190)。在吉林省，有超过半数的县级行政区 (28 个，共 48 个) 的风险值大于 0.10，且集中分布在东部地区，风险值排在前 2 位是集安市 (0.1489) 和通化县 (0.1441)。相比较，辽宁省风险水平较高，所有 58 个县的风险值都超过 0.10，其

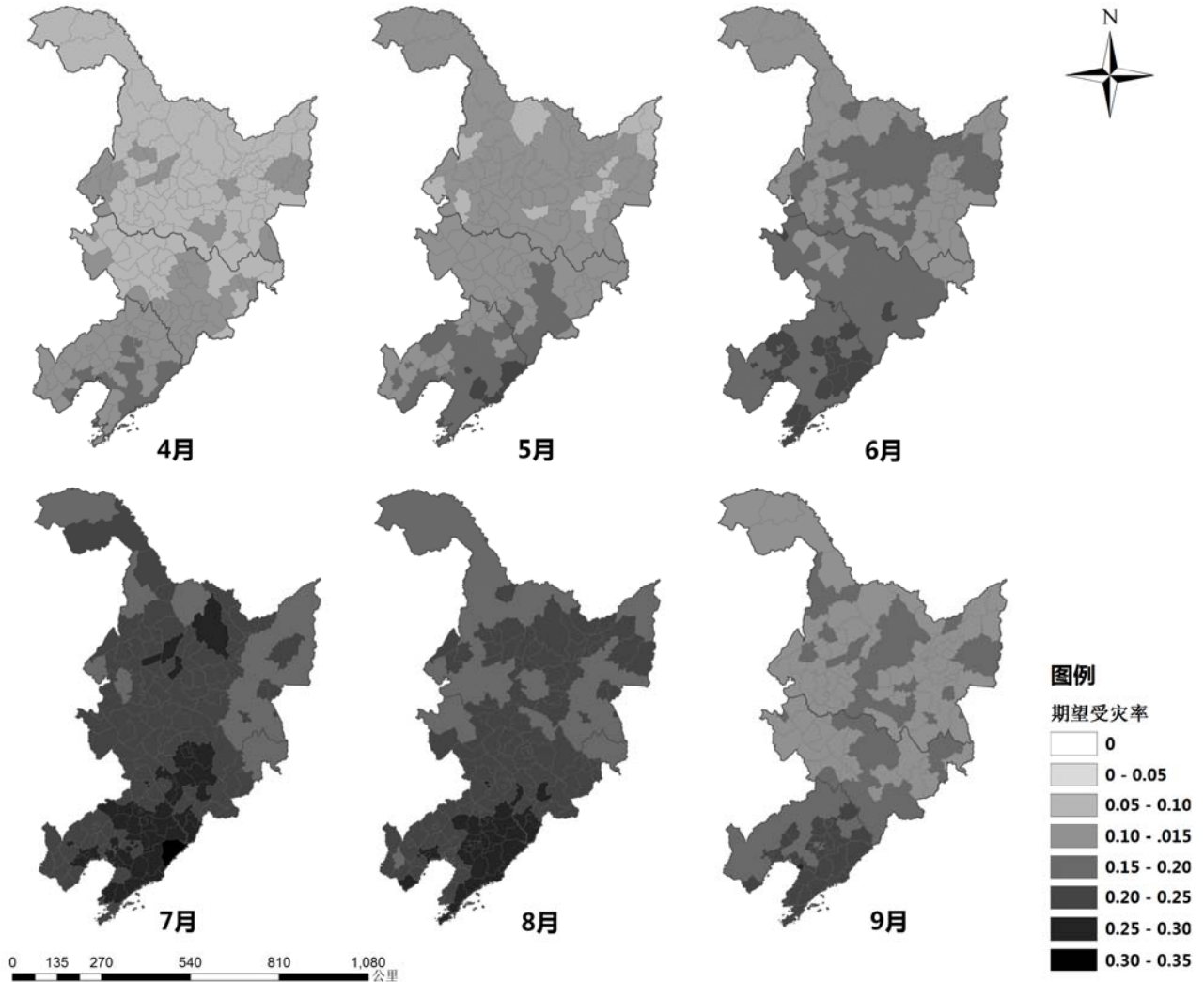


图 7 东北三省农作物洪涝分月风险图

中有 17 个县级行政区的风险值超过了 0.15 且集中分布在辽宁省的东南部地区, 风险值排名前 2 位的是鞍山市市辖区 (0.1780) 和丹东市市辖区 (0.1772)。4 月份, 风险重点防范的区域应在辽宁省的东南部。

5 月份, 东北三省的农作物洪涝风险水平较 4 月份有所提升, 风险均值升到 0.10 至 0.17 之间 (黑龙江 0.114, 吉林省 0.136, 辽宁省 0.166)。黑龙江省的绝大部分县级行政区 (66 个) 风险值在 0.10 至 0.15 之间, 其中海伦市和克山县的风险值最高, 分别为 0.1443 和 0.1355。吉林省全境内所有县级行政区的风险值都超过了 0.10, 另有 12 个县级行政区的风险值超过 0.15, 集中分布在东南部, 其中集安市和通化县的风险值最高, 分别为 0.1832 和 0.1745。辽宁省内有 5 个县级行政区风险值超过 0.20, 分布在东部, 36 个县级行政区风险值在 0.15 至 0.10, 分布在中部, 17 个县级行政区风险值在 0.10 至 0.15, 分布在西部, 其中鞍山市市辖区和丹东市市辖区风险值依旧最高, 分别是 0.2131 和 0.2094。5 月份风险重点防范的区域是吉林省东南部和辽宁省东部。

6 月份, 东北三省的农作物洪涝风险水平仍在上升, 风险均值升到 0.14 至 0.20 之间 (黑龙江 0.149, 吉林省 0.172, 辽宁省 0.195)。黑龙江省中部的 32 个县级行政区风险值在 0.15 至 0.20 之间, 其余县级行政区风险值在 0.10 至 0.15 之间, 其中位于中部地区的海伦市和庆安县的风险值最高, 分别是 0.1996 和 0.1912。吉林省西北部的 5 个县级行政区风险值在 0.10 至 0.15 之间, 其余 43 个县级行政区风险值大于 0.15, 另有 3 个县级行政区风险值大于 0.20, 其中位于中东部地区的靖宇县和四平市市辖区的风险值最大, 分别为 0.2074 和 0.2030。相比较 4、5 月份, 6 月份黑龙江省和吉林省的最高风险值之间差距缩小。辽宁省有 22 个县级行政区的风险值超过 0.20, 分布在东部、南部和中西部, 另有 36 个县级行政区的风险值在 0.15 至 0.20 之间, 其中, 普兰店市和抚顺市市辖区的风险值最高, 分别为 0.2343 和 0.2260。6 月份, 风险重点防范的区域是黑龙江省的中部, 吉林省的东部, 辽宁省的西部、东部和南部。

7 月份, 东北三省的农作物洪涝风险达到了最高水平, 风险均值达到了 0.21 至 0.26 之间 (黑龙江 0.213, 吉林省 0.233, 辽宁省 0.259)。黑龙江省有 4 个县级行政区的风险值超过 0.25 且分布在中北部, 48 个县级行政区的风险值在 0.20 至 0.25 间且集中分布在中西部, 剩下的 24 个县级行政区的风险值在 0.15 至 0.20 之间, 其中绥化市市辖区和明水县的风险值最高, 分别为 0.2773 和 0.2619。吉林省有 13 个县级行政区风险值超过 0.25 且分布在中部, 剩下

的 35 个县级行政区风险值在 0.20 至 0.25 间, 其中梅河口市和集安市的风险值最大, 分别为 0.2765 和 0.2706。7 月份, 黑龙江省与吉林省之间的高风险值相当。辽宁省全境内的风险值均超过了 0.20, 有 35 个县级行政区的风险值在 0.25 值 0.30 之间且分布在东部地区, 另有 1 个县级行政区的风险值甚至超过了 0.30, 即宽甸满族自治县的风险值达到 0.3233, 其次是凤城市的风险值达到 0.2962。7 月份, 风险重点防范的区域是黑龙江省的中北部, 吉林省的中部和辽宁省的东部。

8 月份, 东北三省的农作物洪涝风险开始衰减, 但总体水平高于 6 月份, 风险均值在 0.20 至 0.25 间 (黑龙江 0.201, 吉林省 0.222, 辽宁省 0.245)。黑龙江省有 38 个县级行政区的风险值在 0.20 至 0.25 之间且分布在中部, 其余的县级行政区的风险值在 0.15 至 0.20 之间, 其中依兰县和牡丹江市市辖区的风险值最高, 分别为 0.2464 和 0.2317。吉林省有 6 个县级行政区的风险值高于 0.25 且分布在东南部与辽宁省交界的地区, 35 个县级行政区的风险值在 0.20 至 0.25 之间, 剩余 7 个县级行政区的风险值在 0.15 至 0.20 之间, 其中通化县和通化市市辖区的风险值最大, 分别是 0.2735 和 0.2582。辽宁省全境范围内的风险值在 0.20 以上, 有 26 个县级行政区风险值在 0.25 至 0.30 之间且分布在中东部, 其中清原满族自治县和鞍山市市辖区的风险值最高, 分别为 0.2958 和 0.2818。8 月份, 风险重点防范的区域是黑龙江省中部, 吉林省东南部和辽宁省的中东部。

9 月份, 东北三省的农作物洪涝风险进入全面的衰退期, 总体水平甚至低于 5 月份, 风险均值降至 0.14 至 0.20 间 (黑龙江 0.143, 吉林省 0.154, 辽宁省 0.200)。黑龙江省全境内风险值高于 0.10, 有 23 个县级行政区的风险值在 0.15 至 0.20 之间且呈现零散分布, 其中庆安县和富裕县的风险值最大, 分别为 0.1773 和 0.1724。吉林省的风险值介于 0.10 至 0.20 之间, 其中 28 个县级行政区的风险值大于 0.25 且分布在中南部, 通化县和四平市市辖区的风险值最大, 分别为 0.1949 和 0.1907。辽宁省有 30 个县级行政区风险值在 0.15 至 0.20 之间, 27 个县级行政区风险值在 0.20 至 0.25 之间, 1 个县级行政区风险值大于 0.25, 高风险值依旧集中在中东部, 其中营口市市辖区风险值为 0.263, 宽甸满族自治县风险值为 0.2412, 排在前两位。8 月份, 风险重点防范的区域应在辽宁省的中东部和东南部。

## 5. 总结

本文以东北三省为研究区, 在洪涝灾情数据、气象数据和种植面积数据的基础上, 通过构建气象

插值模型、农作物洪涝脆弱性模型和非参数核密度的信息扩散模型,开展了以县、月为单元的小时空尺度下农作物洪涝风险评估研究,并在评估结果的基础上探讨了风险的时空差异特征。本研究是一个全新的尝试,它为灾害样本严重不足情况下的小时空尺度风险评估提供了一个解决方案。

另一方面,在研究中发现,农作物洪涝脆弱性模型是整个风险评估的关键,本研究仅建立了单变量(降雨量)与受灾率之间的回归关系,关系合理但并不理想。在接下来的研究中,作者将会深入探讨如何建立多因子农作物洪涝脆弱性关系模型来进一步完善风险评估。

## 致谢

本研究得到了国家自然科学基金项目(40901274)的资助。

## 参考文献

1. Zhang Qiao and Wang Ke, Methods and models in risk analysis of crops' production, *Agricultural Outlook*, 8 (2007) 7-10  
张峭, 王克. 农作物生产风险评估的方法和模型[J]. *农业展望*, 2007, 8:7-10
2. Huo Zhiguo, Li Shikui, Wang Suyan, et al. Study on the risk evaluation technologies of main agrometeorological disasters and their application, *Journal of Natural Resources*, 18(6) 2003 692-702  
霍治国, 李世奎, 王素艳等. 主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(6): 692-702
3. Li Yunhui, He Yimei, Yang Zisheng. Analysis on reduced grain yield from agricultural natural disaster in Jinsha river basin of Yunnan province. *Journal of Mountain Science*. 20(Sup.) 2002 43-48  
李云辉, 贺一梅, 扬子生. 云南金沙江流域因灾减产粮食量分析[J]. *山地学报*. 2002.20 (增刊): 43-48
4. Zhang Xing, Zhang Chungui, Wu Juxin, et al. Risk assessment of yield losses from a gro-meteorological disasters in Fujian Province, *Journal of Natural Disasters*, 18(1) 2009 90-94  
张星, 张春桂, 吴菊薪等. 福建农业气象灾害的产量灾损风险评估[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(1): 90-94
5. [http://www.cma.gov.cn/qxxw/t20071115\\_220733.phtml](http://www.cma.gov.cn/qxxw/t20071115_220733.phtml)
6. <http://www.tech-food.com/news/2012-3-14/n0732086.htm>
7. Zhao Junfang, Yan Xiaodong, Jia Gensuo. Simulating the responses of forest net primary productivity and carbon budget to climate change in northeast China. *ACTA Ecologica Sinica*, 28(1) 2008 92-102  
赵俊芳, 延晓冬, 贾根锁. 东北森林净第一性生产力与碳收支对气候变化的响应[J]. *生态学报*, 2008, 28(1): 92-102
8. Chen Shupeng, Lu Xuejun, Zhou Chenghu. *Introduction to Geographical Information Systems*. Science Press, Beijing, 2009, 119  
陈述彭, 鲁学军, 周成虎. *地理信息系统导论*[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 119
9. Zhou Yao, Wang Jingai. A review on development of vulnerability curve of natural disaster. *Advances in Earth Science*, 27(4) 2012 435-442  
周瑶, 王静爱. 自然灾害脆弱性曲线研究进展[J]. *地球科学进展*, 2012, 27(4): 435-442
10. Wang Lihong, Yang Ruihua, Tian Zhihong, et al. Maize GRP rate of premium deciding by nonparametric kernel density: A case study on Anguo city, Hebei province. *Journal of China Agricultural University*, 12(1) 2007 90-94  
王丽红, 杨华, 田志宏, 等. 非参数核密度法厘定玉米区域产量保险费率研究—以河北安国市为例[J]. *中国农业大学学报*, 2007, 12(1): 90-94
11. Guo Yingchun, Yan Yiling, Wang Wei, et al. The methods of agricultural natural risk evaluation and regional insurance premium calculation. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*. 5 (1998) 232-237  
郭迎春, 闫宜玲, 王卫, 等. 农业自然风险评估及区域农业保险费率的确定方法[J]. *应用气象学报*, 1998(5):232-237
12. Barry K G, Alan P K. Nonparametric estimation of crop yield distributions: implications for rating group-risk crop insurance contracts. *Amer J Agr Econ*, 80 (1998) 139-153
13. Alan P K, Barry K G. Nonparametric estimation of crop insurance rates revisited. *Amer J Agr Econ*, 83 (2000) 463-478