

# 1961-2010年长江中下游地区农业洪涝灾害时空变化

张桂香<sup>1</sup>, 霍治国<sup>1,2</sup>, 吴立<sup>1</sup>, 王慧芳<sup>1</sup>, 杨建莹<sup>1</sup>

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044)

**摘要:** 为揭示长江中下游地区农业洪涝灾害的发生、分布及时空演变特征, 基于1961-2010年研究区内426个气象站的逐日降水数据, 以湖北省单站洪涝等级标准为初始指标, 对该指标临界值在-50~100 mm范围内进行同步增减, 结合该区7省(市)的洪涝历史灾情记载和农业洪涝受灾面积, 采用逐步剔除的方法筛选指标, 构建分省农业洪涝等级指标并验证指标的合理性, 分析该区近50年农业洪涝灾害的时空变化。结果表明: ①近50年长江中下游地区的农业洪涝灾害发生总体呈增加的趋势, 但不同区域和不同年代际差异明显; ②20世纪60年代至80年代农业洪涝发生次数相对平稳, 90年代洪涝明显增多, 21世纪初洪涝又相对减少; ③区域农业洪涝灾害明显呈现出江南多、江北少的分布特征。农业洪涝多发区主要集中在江西中北部、江汉平原、浙江沿海, 以及安徽、江西和浙江三省交界地带。

**关键词:** 农业洪涝灾害; 洪涝等级指标; 时空分析; 长江中下游地区

DOI: 10.11821/dlj201506009

## 1 引言

洪涝灾害是由于降水过多、过于集中, 致使过量雨水无法及时排出, 造成人员伤亡、房屋倒塌、交通阻断、农田淹没等灾害, 而农业洪涝灾害是由于强降雨过程导致农田积水而造成农作物生长发育受阻、减产等的农业气象灾害<sup>[1-3]</sup>。长江中下游地区是中国重要的粮、油、棉生产基地, 多湖泊、多洼地的地形及亚热带季风气候, 导致了该区的洪涝灾害频发, 常造成严重的农业经济损失和人员伤亡<sup>[4]</sup>。因此, 研究揭示长江中下游地区农业洪涝灾害的时空变化特征对科学开展区域防洪减灾就显得尤为重要。

洪涝灾害时空分布的研究主要涉及洪涝指标选取和洪涝等级划分。国外对洪涝灾害的研究多是侧重于结合水文模型的洪水分布预测和风险评估, 常用的洪涝指标为年均降雨量和季节降雨量<sup>[5,6]</sup>。近年来, 国内许多专家学者对洪涝灾害的时空变化进行了研究, 并取得了大量成果。常用的洪涝指标有Z指数<sup>[7,8]</sup>、标准化降水指数(SPI)<sup>[9]</sup>、降水量距平百分率<sup>[10]</sup>等。除此之外, 郭广芬等<sup>[11]</sup>利用不同时间尺度的过程降水量序列的百分位数阈值将洪涝分成5级; 姜月清等<sup>[12,13]</sup>根据暴雨的时间分布规律, 以日雨量、前10 d降雨量总和的阈值确定分级指标; 高阳华等<sup>[14,15]</sup>则以单站1 d、2 d、3 d或以上的过程降水量阈值划分洪涝等级标准; 洪毅<sup>[16]</sup>以连续3 d或4 d的累计雨量阈值界定单站洪涝指标, 又以

收稿日期: 2015-01-05; 修订日期: 2015-04-20

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题项目(2012BAD20B02); 国家自然科学基金项目(41401415)

作者简介: 张桂香(1989-), 女, 河南信阳人, 硕士, 研究方向为农业气象灾害风险评估。

E-mail: mubeiguaiguai@163.com

通讯作者: 霍治国(1965-), 男, 河南平舆人, 研究员, 主要从事农业和生物气象灾害预测预报与风险评估。

E-mail: huozhigg@cma.gov.cn

发生洪涝的站点个数分别构建局地性和区域性的洪涝指标。也有一些学者基于历史灾情资料来划分洪涝等级,如Llasat等<sup>[17]</sup>在研究地中海西北部的洪水演变时,以洪水造成的灾情大小将洪水分成一般、特大和毁灭性三个洪涝等级;李吉顺等<sup>[18]</sup>提出了以受灾面积划分暴雨洪涝灾害等级;李桂忱等<sup>[19]</sup>通过对以省为单位的经济损失、受灾面积、死伤人口、倒塌房屋等灾情数据进行归一化来划分暴雨洪涝灾害的等级。

目前针对长江中下游地区洪涝灾害的研究主要集中在降水特征、暴雨洪涝成因和洪涝灾害风险分析等方面<sup>[20-26]</sup>,但针对该区农业洪涝灾害指标及其时空分布特征的研究报道甚少。为此,基于农业洪涝灾害与气象意义上的暴雨洪涝灾害的密切关联性、用于构建指标的气象数据的实时可获取性、以及指标在农业洪涝灾害监测预警评估实时业务中的实用性,以暴雨洪涝指标为原型指标,结合实际农业洪涝灾情资料,构建长江中下游地区农业洪涝灾害指标,借助于GIS和SPSS技术,分析长江中下游地区7省(市)的近50年农业洪涝灾害的时空变化,以期为该地区农业可持续发展和制定防灾减灾对策提供科学依据。

## 2 数据来源

气象资料来源于国家气象信息中心,包括浙江、江苏、上海、江西、湖南、湖北、安徽7省(市)498个气象站点1961-2010年的逐日降水量资料。剔除资料年份严重不足的站点,最后使用的是426个非全年缺测站点数据,对个别缺测值采用历年同期非缺测数据的平均值代替,气象站点分布情况如图1所示。

农业洪涝灾情资料来源于中国种植业信息网的灾情数据库,包括上述7省(市)1961-2010年的省级农作物种植面积,以及洪涝受灾面积、成灾面积和绝收面积。其中,上海市的洪涝成灾面积和绝收面积缺损严重。农业洪涝灾情指标的构建,一般可通过暴雨洪涝指标与水灾受灾率的相关性分析确定<sup>[27,28]</sup>。鉴于个别省(市)的洪涝成灾面积和绝收面积缺损较多,采用历年农业洪涝受灾率表征农业洪涝灾情,即历年农业洪涝受灾面积占种植面积的百分比。

洪涝史情资料来源于浙江、上海、江苏、江西、湖南、湖北和安徽7省(市)的气象灾害大典,包括1961-2010年的分省个别地区洪涝发生的时间、地点和灾损等。

## 3 研究方法

### 3.1 农业洪涝等级指标的构建

洪涝灾害大多由短时间内(一般为1~3d)急剧的强降水造成的,一次洪涝过程往往发生于一次连续降水过程(包括1d)中。常用的月或旬降水距平百分率的方法人为切断



图1 长江中下游地区426个气象站点分布  
Fig. 1 Distribution of 426 meteorological stations in the middle and lower reaches of the Yangtze River

了自然降水过程,可能造成洪涝的漏记;降水量的分布型拟合法如Z指数、标准化降水指数等统计洪涝时计算复杂,而且分布型拟合本身也存在不确定性;基于洪涝历史灾情数据统计洪涝虽然可行,但是目前国内的洪涝灾情数据缺损严重。因此,定义一次连续降水过程的累计降雨量为过程降水量<sup>[11,29]</sup>,基于过程降水量阈值将洪涝分为1 d、2 d和3 d(或3 d以上)洪涝过程来统计洪涝发生次数的方法在业务上有更好的实用性。

**3.1.1 洪涝初始指标的选取** 首先,选取两组基于过程降水量建立的单站洪涝等级指标,其中一组是研究区内的指标,即万君等<sup>[15]</sup>在研究湖北省区域洪涝灾害风险评估时采用的暴雨洪涝等级标准(表1);另一组是研究区外的指标,是由高阳华等<sup>[14]</sup>建立的重庆市单站洪涝指标。比较这两组指标在研究区的适用性,选取适用性较好的指标为洪涝初始指标。根据单站洪涝等级指标定义了小、中、大涝次数,小涝次数即站点的1 d、2 d和3 d(或3 d以上)过程降水量达到小涝标准的次数,中、大涝次数的定义类似,总洪涝次数为小、中、大涝次数之和。

表1 湖北省单站洪涝等级标准<sup>[15]</sup> (mm)

Tab. 1 Single station flood standard (mm) of Hubei province

洪涝等级	1 d过程降水量	2 d过程降水量	3 d或以上过程降水量
小涝	100≤R<150	150≤R<200	200≤R<250
中涝	150≤R<200	200≤R<250	250≤R<300
大涝	R≥200	R≥250	R≥300

注: R表示过程降水量,当连续降雨时间超过3 d时,则在该段降雨时间内取雨量最大的3 d计算总雨量。

分别按照上述两组指标,结合1961-2010年站点逐日降水量,统计小、中、大涝逐年发生的次数和逐年总洪涝次数。用各省的逐年洪涝次数分别与相应省份的农业洪涝受灾率做相关性分析,基于农业洪涝受灾率与小、中、大涝次数以及总洪涝次数的相关系数大小及其适应省份的多少,筛选洪涝初始指标。结果显示湖北省单站洪涝等级指标在长江中下游地区适应性相对较好(表2),因此选取该指标为洪涝初始指标。

**3.1.2 分省农业洪涝等级指标的构建** 为了说明构建分省农业洪涝等级指标的必要性,对该区的降水情况和农业洪涝灾情进行了综合分析。就50年平均降雨量而言(图2),江西

表2 研究区各省农业洪涝受灾率与洪涝次数相关分析的结果

Tab. 2 The results of correlation analysis between provincial agricultural flood disaster rate and flood frequency

省份	各洪涝等级次数	相关性分析结果		省份	各洪涝等级次数	相关性分析结果	
		湖北指标	重庆指标			湖北指标	重庆指标
浙江	小涝次数	0.4061*	0.5426*	湖南	小涝次数	0.6728*	0.5950*
	中涝次数	0.4097*	0.4373*		中涝次数	0.5822*	0.7369*
	大涝次数	<u>0.3321</u>	0.3321		大涝次数	<u>0.4286</u> *	0.4286*
	总洪涝次数	0.4578*	0.6044*		总洪涝次数	<u>0.7228</u> *	0.6908*
上海	小涝次数	<u>0.6477</u> *	0.5067*	湖北	小涝次数	0.6267*	0.6338*
	中涝次数	0.5371*	0.7252*		中涝次数	0.6256*	0.6858*
	大涝次数	<u>0.4478</u>	0.4478		大涝次数	<u>0.5947</u> *	0.5947*
	总洪涝次数	<u>0.7897</u> *	0.7190*		总洪涝次数	0.7058*	0.7246*
江苏	小涝次数	<u>0.6095</u> *	0.5019*	安徽	小涝次数	<u>0.6893</u> *	0.6204*
	中涝次数	<u>0.7991</u> *	0.7968*		中涝次数	<u>0.8393</u> *	0.7719*
	大涝次数	<u>0.7539</u> *	0.7539*		大涝次数	<u>0.6744</u> *	0.6744*
	总洪涝次数	<u>0.7929</u> *	0.7454*		总洪涝次数	<u>0.7917</u> *	0.7563*
江西	小涝次数	<u>0.5443</u> *	0.5326*				
	中涝次数	<u>0.7556</u> *	0.6683*				
	大涝次数	<u>0.7560</u> *	0.7560*				
	总洪涝次数	<u>0.7506</u> *	0.7040*				

注:表中的相关性分析结果显示的是相关系数r,\*为在显著性水平 $\alpha=0.01$ 时,相关性显著;未标记\*的为在显著性水平 $\alpha=0.05$ 时,相关性显著;下划线标记的为相关系数湖北指标大于或等于重庆指标的部分。

的年平均降雨量最大,全省在1400 mm之上;浙江和湖南次之,年平均降雨量也均在1400 mm之上;江苏和上海的年平均降雨量相对较小。而各省非缺测年份的平均受灾率从大到小依次为湖北、湖南、江西、安徽、浙江、江苏、上海,分别为0.119、0.106、0.104、0.098、0.090、0.081、0.043;湖北省农业洪涝受灾最严重,湖南和江西次之,上海最轻。如果直接将湖北省的单站洪涝等级标准用作整个长江中下游地区的洪涝等级指标,将导致计算得到的不同省份间洪涝发生强度与实际的受灾轻重不符,尤其是江西和浙江两省的洪涝明显偏重。

将初始指标(表1)的临界值同增减-50~100 mm,间隔为1 mm。如初始指标临界值增加-50 mm时,则基于1 d过程降水量的小涝临界值下限由100 mm变为50 mm、临界值上限由150 mm变为100 mm,其他小、中、大涝临界值上下限以同样的方法进行同步增减,得到1组洪涝指标。在-50 mm的基础上每次增加1 mm,重复上述步骤,共得到151组洪涝指标;以此进行分省农业洪涝指标修订。计算各组指标下站点逐年小、中、大涝的次数,以及分省逐年总洪涝次数。对总洪涝次数与受灾率分省进行相关性分析,结果均能通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,大多数能通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。为了使指标与洪涝史情有更好的吻合性,结合7省(市)灾害大典中1961-2010年个别地区有关洪涝史情的记载,初步剔除史情记载中有洪涝发生而相应年份该省的总洪涝次数为0的指标。表3以基于1 d过程降水量的小涝临界值下限范围为例(下同),给出151组洪涝指标中初步剔除、保留的分省洪涝指标。

因为获取的农业洪涝灾情数据是历年省级农业洪涝受灾面积,为了使单站洪涝发生次数与灾情数据相匹配,以及评价单站总洪涝发生强度,分别定义了单站年洪涝指数和省年洪涝指数:

$$m = w_1 \times n_1 + w_2 \times n_2 + w_3 \times n_3 \quad (1)$$

$$M = \frac{w_1 \times N_1 + w_2 \times N_2 + w_3 \times N_3}{K} \quad (2)$$

式中: $m$ 为单站年洪涝指数; $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 分别为单站一年内小涝、中涝、大涝发生的次数; $M$ 为省年洪涝指数; $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 分别为全省所有站点一年内小涝、中涝、大涝发生的次数之和; $K$ 为全省的站点总数; $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 分别为小涝、中涝、大涝发生次数的权重。

采用多元线性回归确定小涝、中涝、大涝次数的权重,用年受灾率序列 $y_1$ 与小涝、中涝和大涝发生次数序列 $N_1$ 、 $N_2$ 和 $N_3$ 分省建立多元线性回归方程:

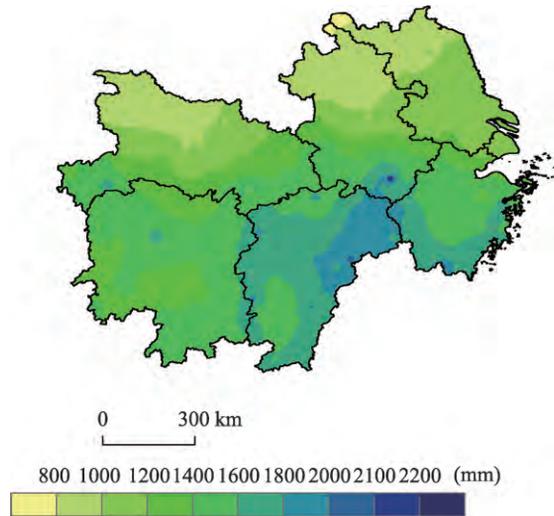


图2 长江中下游地区50年平均降雨量

Fig. 2 Average annual rainfall of the middle and lower reaches of the Yangtze River in 50 years

表3 初步剔除、保留的分省洪涝指标(mm)

Tab. 3 Provincial flood indicator (mm) excluded and reserved preliminarily

省份	剔除的指标 (基于1 d过程降水量的 小涝临界值下限范围)	保留的指标 (基于1 d过程降水量的 小涝临界值下限范围)
浙江	107~200	50~106
上海	119~200	50~118
江苏	144~200	50~143
江西	113~200	50~112
湖南	125~200	50~124
湖北	93~200	50~92
安徽	116~200	50~115

$$y_1 = a_0 + a_1 N1 + a_2 N2 + a_3 N3 \quad (3)$$

式中:  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 均大于0,且回归方程满足显著性检验,剔除多元回归结果中回归系数小于0的指标。则

$$w1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2 + a_3} \quad (4)$$

$$w2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2 + a_3} \quad (5)$$

$$w3 = \frac{a_3}{a_1 + a_2 + a_3} \quad (6)$$

根据式(1)~式(6)计算出各指标下分省年洪涝指数。

另外,在进行省与省之间洪涝次数的比较时,为了消除各省站点数不同对结果造成的影响,定义省平均每站的逐年洪涝次数为:

$$\bar{N}_i = \sum_{j=1}^k N_{ij} / K \quad (7)$$

式中:  $\bar{N}_i$ 为省平均每站的逐年洪涝次数;  $i$ 取1、2、3分别代表小涝、中涝、大涝等级;  $N_{ij}$ 为站点的各等级逐年洪涝次数。

就平均受灾率而言,上海市受灾最轻,湖北省受灾最重,考虑到分省洪涝灾害的可比性,构建分省农业洪涝等级指标时应先确定湖北或上海的洪涝等级指标,以此为参照,根据受灾率大小依次确定其余6省(市)的洪涝等级指标。分别对各组指标下分省年洪涝指数与受灾率做相关性分析,结果显示上海市的结果整体比湖北的好,所以首先确定了上海市的单站洪涝等级指标。根据上海市的降雨量情况,以及洪涝指数与受灾率的相关性分析结果,选取相关系数相对较高的指标,即最低临界值为53 mm的这组指标。

上海市洪涝指数50年平均值为0.0727,挑选出其余6省50年平均洪涝指数:湖北>湖南>江西>安徽>浙江>江苏>上海的指标(表4)。

为了进一步筛选分省指标,将表4中保留的指标下各省(市)50年平均洪涝指数序列(共有 $19 \times 4 \times 5 \times 10 \times 27 \times 9$ 种组合)分别与各省(市)平均受灾率序列进行相关性分析,选取相关性最好的组合(相关系数=0.9694,且通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验)规定为长江中下游地区分省单站洪涝等级指标(表5)。

### 3.2 农业洪涝灾害的趋势性分析

采用一元线性回归对长江中下游地区50年的农业洪涝指数进行时间趋势分析,回归方程如下:

$$y_2 = a + bx \quad (8)$$

式中:  $y_2$ 为洪涝指数序列;  $x$ 为年序列。取 $b \times 10$ 为洪涝指数变化的气候倾向率。

## 4 结果分析

### 4.1 农业洪涝指标的合理性验证

为了检验农业洪涝指标的选取是否合理,选取了1991年和1998年长

表4 6省满足条件的指标

Tab. 4 Flood indicator of the remaining six provinces to meet the conditions

省份	保留的指标	
	(基于1 d过程降水量的 小涝临界值下限范围, mm)	
	保留指标的个数	
浙江	88~106	19
江苏	50, 66, 79, 80	4
江西	66~70	5
湖南	50~58, 70	10
湖北	50~53, 55~77	27
安徽	50~58	9

表5 长江中下游地区单站洪涝等级指标及各省年洪涝指数

Tab. 5 Single station flood indicator and provincial year flood index in the middle and lower reaches of the Yangtze River

省份	单站洪涝等级指标(mm) (基于1 d过程降水量的 小涝临界值下限)	省年洪涝指数	洪涝指数与受灾率 相关性分析结果
浙江	95	$M = (0.3675 \times N1 + 0.4713 \times N2 + 0.1612 \times N3) / 41$	0.4846
上海	53	$M = (0.0122 \times N1 + 0.3884 \times N2 + 0.5994 \times N3) / 10$	0.8163
江苏	50	$M = (0.0036 \times N1 + 0.1302 \times N2 + 0.8661 \times N3) / 62$	0.8392
江西	70	$M = (0.0277 \times N1 + 0.2912 \times N2 + 0.6810 \times N3) / 82$	0.7900
湖南	70	$M = (0.3137 \times N1 + 0.0671 \times N2 + 0.6190 \times N3) / 88$	0.7092
湖北	70	$M = (0.2120 \times N1 + 0.1945 \times N2 + 0.5935 \times N3) / 71$	0.7164
安徽	58	$M = (0.0061 \times N1 + 0.2872 \times N2 + 0.7067 \times N3) / 72$	0.8143

注：表中的相关性分析结果显示的是相关系数 $r$ ，且均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

江中下游地区典型大洪涝年作对比分析，运用GIS对各站点的洪涝指数进行反距离平方插值得到长江中下游地区的洪涝指数分布图（图3）。

1991年和1998年的长江中下游地区重灾区有明显差异（图3）。1991年为江淮特大洪涝年，重灾区集中在湖北、安徽和江苏3省，洪涝主轴线从湖北武汉经安徽巢湖至江苏东台一带。1998年为长江全流域大洪水，重灾区主要集中在湖北、湖南、江西和安徽4省，尤以江西、安徽和浙江3省的交界处、两湖流域、澧水、沅水、以及江汉平原中下游地区等地灾情严重。秦年秀等<sup>[24]</sup>根据长江年鉴等洪水灾情资料统计长江中下游地区1870年、1931年、1935年、1954年、1991年、1995年、1996年、1998年、1999年和2002年共10年洪涝的主要受灾地区及灾情（农业减产或人员伤亡、财产损失）指出，1991年洪涝灾情重点集中在太湖流域以及湖北的部分地区；1998年受灾重点地区为两湖流域、洞庭湖的澧水、沅水、长江荆江河段、以及江汉平原中下游地区，与本文的结论基本一致。

#### 4.2 长江中下游地区农业洪涝灾害的时间分布

按照构建的分省农业洪涝等级指标，统计1961-2010年长江中下游地区的各省（市）各等级洪涝次数和总洪涝次数。

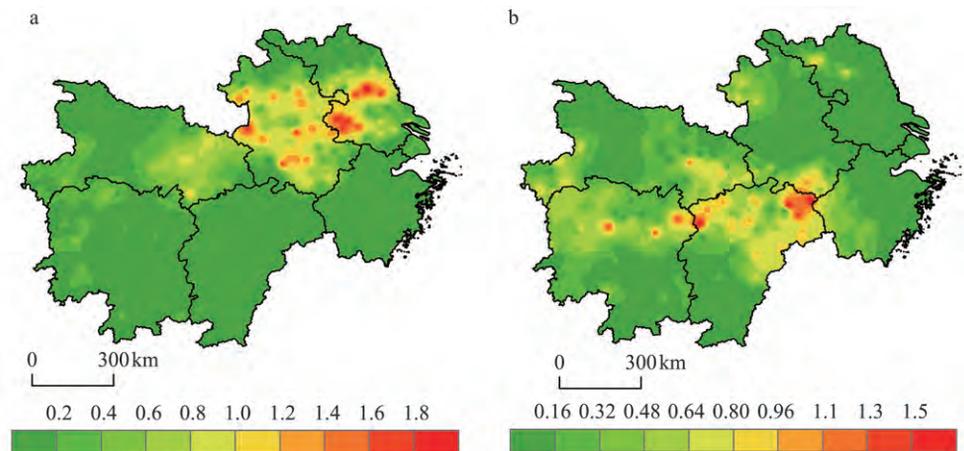


图3 1991年(a)和1998年(b)长江中下游地区洪涝指数分布

Fig. 3 The distribution of flood index in the middle and lower reaches of the Yangtze River in 1991 (a) and 1998 (b)

由图4可以看出, 长江中下游地区各省的洪涝次数呈波动增减, 没有明显的线性趋势。20世纪60年代至80年代中期洪涝发生次数变化相对平稳, 80年代后期至90年代各省洪涝(尤其是大涝)发生明显增多, 21世纪初洪涝又相对减少。随着洪涝灾害等级越大, 洪涝发生的次数越少。安徽、湖北、江西、江苏4省的大涝发生次数相对较高, 湖南和浙江次之, 上海最低。

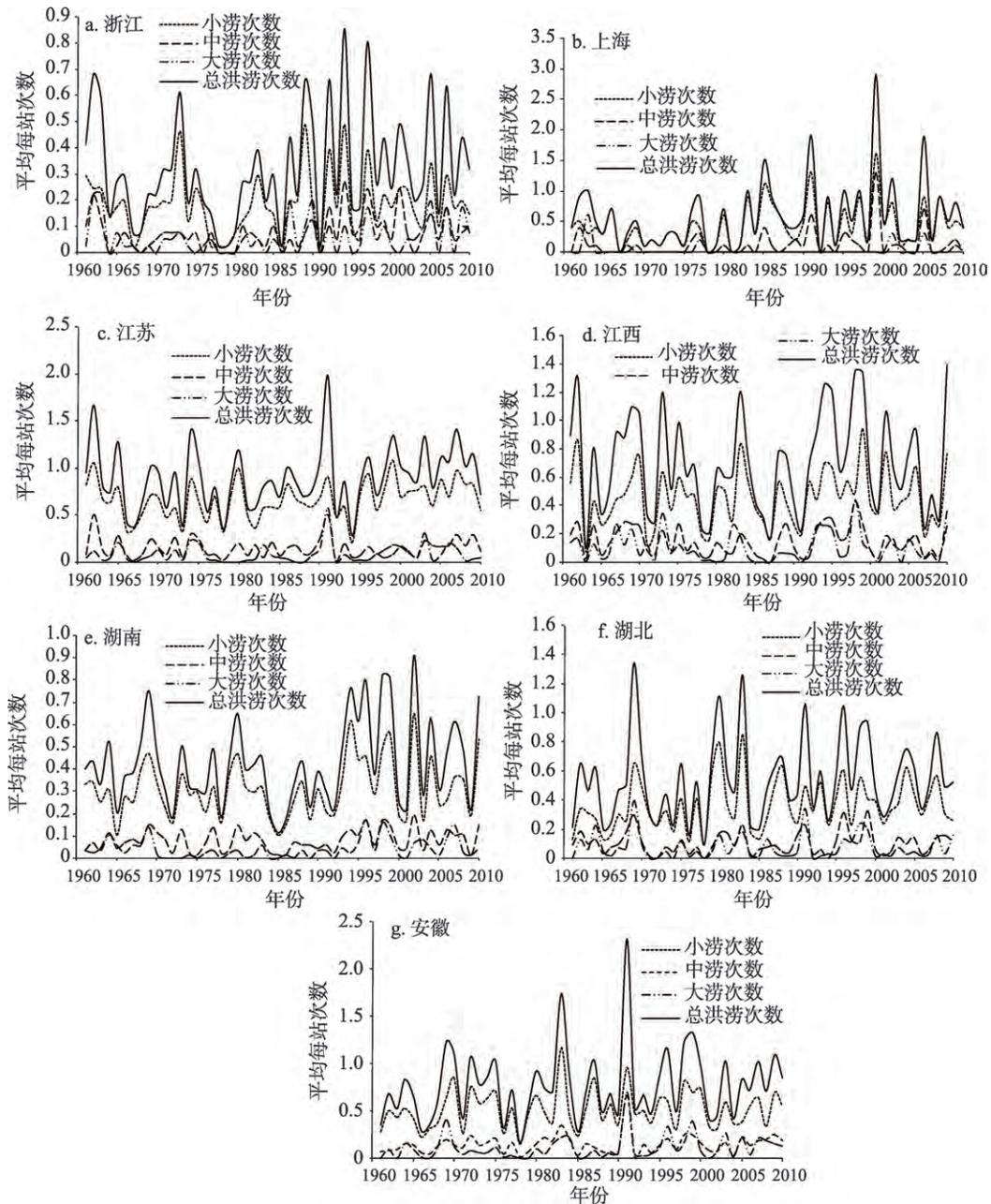


图4 1961-2010年长江中下游地区小涝、中涝、大涝次数的时间分布

Fig. 4 Temporal distribution of small, medium and large flood frequency in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1961 to 2010

### 4.3 长江中下游地区农业洪涝灾害的空间分布

结合计算出的站点各等级洪涝次数和洪涝指数，运用ArcGIS中的反距离插值，生成了农业洪涝灾害的分布图（图5~图7）。

**4.3.1 农业洪涝灾害50年平均分布** 图5为1961-2010年长江中下游地区各等级洪涝次数、洪涝指数的平均分布。洪涝指数比较能反映农业洪涝的整体情况，灾害分布呈现明显的江南多，江北相对较少的趋势。灾害的多发区主要集中在江西东北部及其与安徽、浙江的交界处，鄱阳湖、洞庭湖一带，张家界、恩施一带，江汉平原以及浙江东南沿海地区。据浙江省1949-1998年洪涝灾害统计显示，东南沿海的宁波、台州、温州等丘陵平原地区是全省洪涝灾害最严重的地市<sup>[30]</sup>。这些洪涝多发区多位于湖泊周围低洼地和江河两岸及沿海地区，是洪涝灾害发生的高危险区。小涝、中涝、大涝多发区的分布范围依次递减；江西、安徽与浙江交界地带，以及江西东北部的各等级洪涝发生次数都比较多；而上海和浙江的大部分地区，安徽中部和北部，湖北的西北部和中部，以及湖南的中西部，是洪涝的低发区。

**4.3.2 农业洪涝灾害气候倾向率** 图6为1961-2010年长江中下游地区洪涝指数气候倾向率分布。就洪涝指数而言，近50年来该区大部分地区的农业洪涝发生次数有增加趋势，

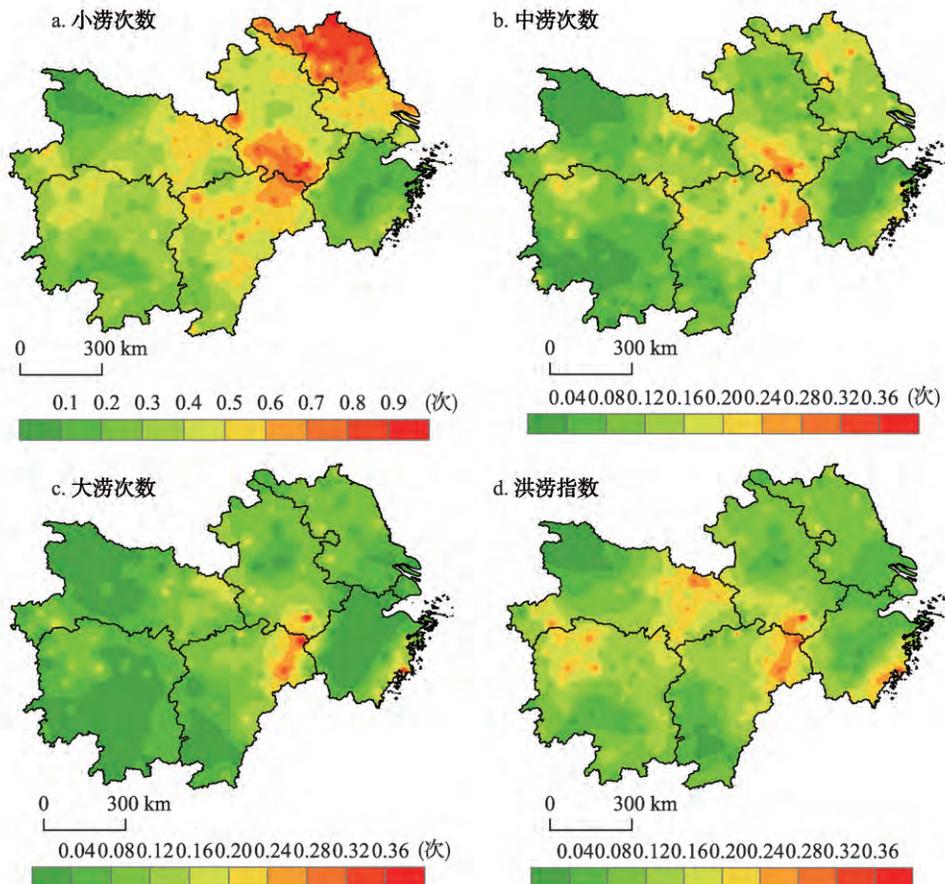


图5 1961-2010年长江中下游地区各等级洪涝次数、洪涝指数的平均分布

Fig. 5 Average distribution of each grade flood frequency and flood index in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1961 to 2010

尤以江西、安徽和浙江三省交界处，湖北江汉平原，湖南中部和东南部，淮河下游地区，以及浙江的东部沿海等地区的增加趋势明显。湖北的西南部、江西南部 and 江苏东北角等地区的洪涝发生则有减少趋势。何书樵等<sup>[21]</sup>在研究近50年来长江中下游地区的降水特征时，认为该区近50年来降水整体呈上升趋势，但是不显著。

**4.3.3 洪涝指数年代际变化** 图7为长江中下游地区1961-2010年洪涝指数的年代际分布。从图中可以看出：20世纪60年代农业洪涝的多发区主要集中在江西东部、湖北恩施和江汉平原、湖南洞庭湖地区和张家界等地区。进入70年代，洪涝的多发区明显缩小。80年代，洪涝多发区向北移动，湖北江汉平原、安徽巢湖一带和苏北地区的洪涝增多，另外浙江东南沿海的洪涝多发区明显增大。90年代，各地的洪涝多发区明显扩大；鄱阳湖一带、安徽西南部、湖北江汉平原以及洞庭湖一带形成一个明显的半环状洪涝多发区。21世纪初，各省的农业洪涝明显减少，洪涝低发区扩大；而浙江东南沿海地区洪涝明显增多，这种现象可能与浙江沿海地区受台风登陆的影响有关<sup>[31]</sup>。

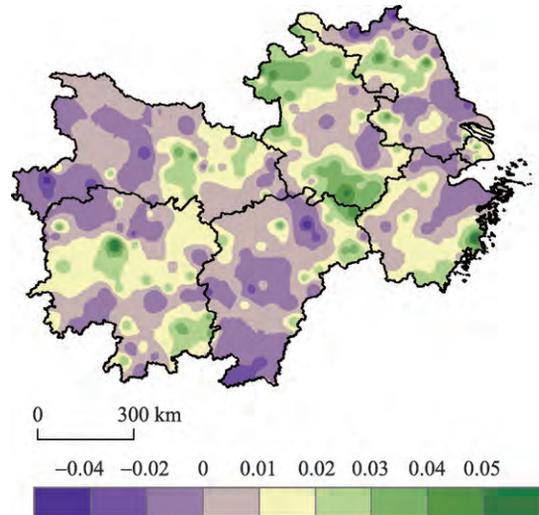


图6 1961-2010年长江中下游地区洪涝指数气候倾向率

Fig. 6 Climate tendency rate of flood index in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1961 to 2010

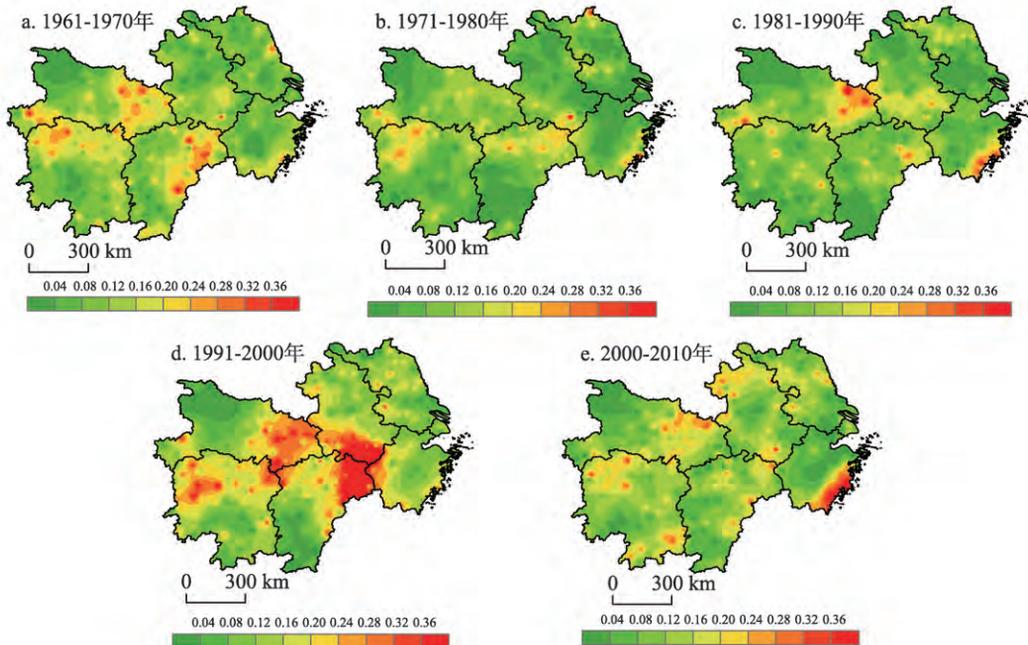


图7 1961-2010年长江中下游地区洪涝指数的年代际分布

Fig. 7 Decadal distribution of flood index in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1961 to 2010

## 5 结论与讨论

以长江中下游地区为研究区,基于该区1961-2010年的逐日降水数据,以及省级农业洪涝灾情资料和洪涝史实的记载,通过对前人构建的暴雨洪涝等级指标进行分省修订,构建了分省农业洪涝等级指标,对比典型年份农业洪涝灾害的分布验证了指标的合理性,并依据构建的指标对该区的农业洪涝灾害时空分布进行研究,得出了以下主要结论:①近50年长江中下游地区的农业洪涝灾害整体有增加的趋势,但是不同区域和年代际差异明显。20世纪60年代至70年代该区洪涝灾害有所减少,而80年代至90年代洪涝呈现明显的增多趋势。到21世纪初该区整体洪涝又相对减少,然而个别地区如浙江东南沿海的洪涝增多。卞洁<sup>[25]</sup>研究长江中下游地区汛期暴雨频次时指出,20世纪70、80年代暴雨频次较之60年代有所增加,在90年代呈现明显增加趋势,21世纪初暴雨频次又减少。其给出的暴雨频次年代际分布与本文给出的农业洪涝灾害的年代际分布略有不同,因为汛期暴雨频次并不能代表全年的洪涝灾情,降雨量到达暴雨级别也不一定就会造成洪涝灾害。②长江中下游地区的农业洪涝灾害呈现明显的江南多、江北少的分布特征。洪涝多发区主要分布在江西与安徽、浙江的交界处,鄱阳湖、洞庭湖一带,张家界、恩施一带,江汉平原以及浙江东南沿海地区。与张文等<sup>[20]</sup>长江中下游地区汛期极端降水的异常特征研究,张行南等<sup>[22]</sup>的全国洪水的灾害危险区划研究结果基本一致。

本文详细解析了长江中下游地区各省市农业洪涝受灾的时空差异,能够为该区洪涝灾害风险管理、防灾减灾规划提供依据。在构建农业洪涝等级指标时仍有一些地方需要改进:①主要考虑了过程降水量,而洪涝的形成还应该考虑地形、水利设施等因素,在获取更精细的洪涝灾情数据的基础上可以将长江中下游地区进一步分区,构建区域尺度更小的洪涝等级指标。②只针对指标临界值进行了修订,并未涉及到洪涝等级划分的修订,未来可以进一步的修正和完善。另外,洪涝灾害等级指标可以从针对整个农作物具体到某一特定作物,但目前国内外洪涝灾害指标多是基于数学方法确定不同等级降水量的阈值而建立,缺乏对洪涝灾害成灾机理的研究,而涉及到具体作物洪涝灾害的研究也只是通过淹水试验分析淹水天数和淹水深度对作物生长发育和产量等因素的影响,因此将淹水天数及淹水深度等与降水因子结合构建作物洪涝灾害指标将是一个研究方向。

### 参考文献(References)

- [1] 周月华,郭广芬,邵木兰,等.基于水位和雨量的洪涝受灾面积评估模型研究.暴雨灾害,2007,26(4):323-327. [Zhou Yuehua, Guo Guangfen, Shao Molan, et al. Study on assessment model of areas suffered from flooding disaster based on water level and precipitation. *Torrential Rain and Disasters*, 2007, 26(4): 323-327.]
- [2] 刘兰芳,钟顺清,唐云松.农业洪涝灾害风险分析与评估:以湘南农业洪涝易损性为例.农业现代化研究,2003,24(5):380-383. [Liu Lanfang, Zhong Shunqing, Tang Yunsong. Risk analysis and assessment of agriculture for flood disaster: A case study of agricultural fragility to waterlogging in south of Hunan province. *Research of Agricultural Modernization*, 2003, 24(5): 380-383.]
- [3] 霍治国,王石立.农业和生物气象灾害.北京:气象出版社,2009. [Huo Zhiguo, Wang Shili. *Agricultural and Biological Meteorological Disasters*. Beijing: China Meteorological Press, 2009.]
- [4] 刘松,朱建强,田皓.长江中下游地区的主要水问题与对策.长江大学学报:自然科学版,2012,9(1):42-46. [Liu Song, Zhu Jianqiang, Tian Hao. Major water problems and strategy of the Yangtze River region. *Journal of Yangtze University: Natural Science Edition*, 2012, 9(1): 42-46.]
- [5] Nobert J, Mugo M, Gadain H. Estimation of design floods in ungauged catchments using a regional index flood method. A case study of Lake Victoria Basin in Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2014, 67(2): 4-11.
- [6] Zaman M A, Rahman A, Haddad K. Regional flood frequency analysis in arid regions: A case study for Australia. *Journal of Hydrology*, 2012, 475: 74-83.
- [7] 刘剑刚.基于Z指数的辽宁省洪涝灾害时空分析.沈阳师范大学学报:自然科学版,2012,30(3):409-413. [Liu Jianguang. Analysing temporal and spatial distribution of flood calamity in Liaoning province using Z index. *Journal of Shenyang Normal University: Natural Science*, 2012, 30(3): 409-413.]

- [8] 李凤琴. 宁夏暴雨、洪涝的调查分析. 宁夏农林科技, 2004, (5): 54-56. [Li Fengqin. Investigation of torrential rain and floods in Ningxia province. Journal of Ningxia Agriculture and Forestry Science, 2004, (5): 54-56.]
- [9] 叶正伟. 江淮下游典型平原水网地区水循环变异的洪涝响应研究. 南京: 南京大学博士学位论文, 2011. [Ye Zhengwei. Flood response to hydrological cycle anomalies of a typical plain river network region in the lower reaches of the Yangtze-Huai River basin. Nanjing: Doctoral Dissertation of Nanjing University, 2011.]
- [10] 陈少勇, 郭俊瑞, 吴超. 基于降水量距平百分率的中国西南和华南地区的冬旱特征. 自然灾害学报, 2015, 24(1): 23-31. [Chen Shaoyong, Guo Junrui, Wu Chao. Characteristics of winter drought in southwest-south China based on precipitation anomaly percentage. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(1): 23-31.]
- [11] 郭广芬, 周月华, 史瑞琴, 等. 湖北省暴雨洪涝致灾指标研究. 暴雨灾害, 2009, 28(4): 357-361. [Guo Guangfen, Zhou Yuehua, Shi Ruiqin, et al. Study on index of heavy rain flood disaster grade in Hubei province. Torrential Rain and Disasters, 2009, 28(4): 357-361.]
- [12] 姜月清. 金城江暴雨洪涝统计特征分析及防御措施. 贵州气象, 2006, 30(s1): 15-16. [Jiang Yueqing. The statistical characteristic analysis and defensive measure for a rainstorm and flood in Jinchengjiang. Journal of Guizhou Meteorology, 2006, 30(s1): 15-16.]
- [13] 李严萍, 雷新玉, 黄丽玫. 宜州市30年来洪涝灾害灾情特征分析. 广西农学报, 2010, 25(2): 34-36. [Li Yanping, Lei Xinyu, Huang Limei. Analysis to the losses caused by flood and waterlogging in Yizhou city during last the decades. Journal of Guangxi Agriculture, 2010, 25(2): 34-36.]
- [14] 高阳华, 唐云辉, 冉荣生, 等. 重庆市洪涝指标及其发生规律研究. 西南农业大学学报, 2002, 24(6): 551-554. [Gao Yanghua, Tang Yunhui, Ran Rongsheng, et al. The research of Chongqing's flood index and its regularity. Journal of Southwest Agricultural University, 2002, 24(6): 551-554.]
- [15] 万君, 周月华, 王迎迎, 等. 基于GIS的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究. 暴雨灾害, 2007, 26(4): 328-333. [Wan Jun, Zhou Yuehua, Wang Yingying, et al. Flood disaster and risk evaluation approach based on the GIS in Hubei province. Torrential Rain and Disasters, 2007, 26(4): 328-333.]
- [16] 洪毅. 丽水地区(瓯江流域)暴雨洪涝气候规律的基本特征. 浙江气象科技, 1999, 20(1): 24-26. [Hong Yi. The climate regularity's basic features of heavy rain flood disaster in Lishui (Ou River Basin). Journal of Zhejiang Meteorological Science and Technology, 1999, 20(1): 24-26.]
- [17] Llasat M C, Marcos R, Llasat-Botija M, et al. Flash flood evolution in North-Western Mediterranean. Atmospheric Research, 2014, 149(6): 230-243.
- [18] 李吉顺, 徐乃璋. 暴雨洪涝灾害灾情等级划分依据和减灾对策. 中国减灾, 1995, 5(1): 36-39. [Li Jishun, Xu Naizhang. Division basis and mitigation measures of the losses caused by heavy rain flood disaster. Disaster Reduction in China, 1995, 5(1): 36-39.]
- [19] 李桂忱, 胡朝霞. 暴雨洪涝灾害灾情级别及其空间分布. 中国减灾, 1997, 7(2): 47-50. [Li Guichen, Hu Zhaoxia. The level and spatial distribution of losses caused by heavy rain flood disaster. Disaster Reduction in China, 1997, 7(2): 47-50.]
- [20] 张文, 刘剑. 长江中下游地区汛期极端降水量的异常特征分析. 2009年全国重大天气过程总结和预报经验交流会论文集, 2009: 58-62. [Zhang Wen, Liu Jian. Analysis to the anomaly of flood season extreme rainfall in the Yangtze River region. Proceedings of 2009 National Major Weather Process Summarize and Forecast Exchange of Experience, 2009: 58-62.]
- [21] 何书樵, 郑有飞, 尹继福. 近50年长江中下游地区降水特征分析. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1187-1192. [He Shuqiao, Zheng Youfei, Yin Jifu. An analysis on precipitation characteristics over middle and lower reaches of Yangtze River in the last 50 years. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1187-1192.]
- [22] 吴文, 谷志孟. 长江中下游洪涝灾害的成因、发展态势与对策. 见: 许厚泽, 赵其国. 长江流域洪涝灾害与科技对策. 北京: 科学出版社, 1999: 37-41. [Wu Wen, Gu Zhimeng. The causes, development trend and countermeasures of flood disaster in the Yangtze River region. In: Xu Houze, Zhao Qiguo. Flood Disaster and Technology Strategies in Yangtze River Basin. Beijing: Science Press, 1999: 37-41.]
- [23] Yang Hui. Anomalous atmospheric circulation, heat sources and moisture sinks in relation to great precipitation anomalies in the Yangtze River Valley. Advance in Atmospheric Sciences, 2001, 18(5): 972-983.
- [24] 秦年秀, 姜彤. 基于GIS的长江中下游地区洪灾风险分区及评价. 自然灾害学报, 2005, 14(5): 1-7. [Qin Nianxiu, Jiang Tong. GIS based risk zoning and assessment of flood disaster in the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(5): 1-7.]
- [25] 卞洁. 长江中下游暴雨洪涝灾害的风险性评估与预估. 南京: 南京信息工程大学硕士学位论文, 2011. [Bian Jie. Risk assessment and forecast of heavy rain flood disaster in the Yangtze River. Nanjing: Master Dissertation of Nanjing Information Engineering University, 2011.]
- [26] 詹小国, 谭德宝. 基于3S技术的长江中下游洪涝灾情评估研究. 人民长江, 2000, 31(12): 31-33. [Zhan Xiaoguo, Tan Debao. Flood and waterlogging disaster evaluation in middle-lower Yangtze by 3S technology. Yangtze River, 2000, 31(12):

- 31-33.]
- [27] 姜会飞, 廖树华, 潘学标, 等. 区域暴雨指标与作物洪涝受灾率的关系. 安徽农业科学与技术, 2011, 12(3): 429-434. [Jiang Huipei, Liao Shuhua, Pan Xuebiao, et al. Relationship between regional rainstorm index and flood disaster ratio of crop. Journal of Anhui Agriculture Science, 2011, 12(3): 429-434.]
- [28] 郭志鹄, 吴胜安, 邓见英. 暴雨洪涝灾害影响评估若干问题探讨. 广东气象, 2008, 30(5): 29-32. [Guo Zhihu, Wu Sheng-an, Deng Jianying. Discussions on impact assessment of flood producing torrential rain. Guangdong Meteorology, 2008, 30(5): 29-32.]
- [29] 杨琳, 刘东华. 洪涝统计方法探讨. 气象与环境科学, 2007, 30(S1): 32-34. [Yang Lin, Liu Donghua. Research on statistical methods for flood estimation. Meteorological and Environmental Sciences, 2007, 30(S1): 32-34.]
- [30] 袁晓玉, 薛根元, 顾骏强, 等. 浙江省洪涝灾害的统计分析. 灾害学, 2002, 17(1): 56-61, 96. [Yuan Xiaoyu, Xue Genyuan, Gu Junqiang, et al. A statistical analysis of flood disasters in Zhejiang province. Journal of Catastrophology, 2002, 17(1): 56-61, 96.]
- [31] 俞燎霓, 雷媛, 曹美兰, 等. 近 58a 来影响和登陆浙江的热带气旋统计特征分析. 台湾海峡, 2007, 26(2): 213-219. [Yu Liaoni, Lei Yuan, Cao Meilan, et al. Statistical analysis on the tropical cyclones affected and landfalled on Zhejiang in recent 58 years. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2007, 26(2): 213-219.]
- [32] 张行南, 罗健, 陈雷, 等. 中国洪水灾害危险程度区划. 水利学报, 2000, 31(3): 1-7. [Zhang Xingnan, Luo Jian, Chen Lei, et al. Zoning of Chinese flood hazard risk. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 31(3): 1-7.]

## The temporal and spatial variations of agricultural flood disaster over the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1961 to 2010

ZHANG Guixiang<sup>1</sup>, HUO Zhiguo<sup>1,2</sup>, WU Li<sup>1</sup>, WANG Huifang<sup>1</sup>, YANG Jianying<sup>1</sup>

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** To understand the occurrence, distribution and temporal-spatial variation of agricultural flood disaster in the middle and lower reaches of the Yangtze River, based on the daily precipitation dataset of 426 meteorological stations in this area from 1961 to 2010, the single station flood indicator was built. The flood level standards of single station in Hubei Province were selected as an initial indicator. Then the threshold of precipitation in the process increased or decreased in a range from -50 to 100 mm. Flood indicator was gradually selected by combining with historical flood records and agricultural areas suffered from flood disaster. The provincial agricultural flood indicator was built and its rationality was further verified. The temporal and spatial changes of agricultural flood disaster in the area for nearly 50 years were analyzed. The main results are as follows: (1) The occurrence of agricultural flood in the middle and lower reaches of the Yangtze River has increased in recent 50 years, and regional and decadal differences are obvious. (2) Less agricultural flood occurred during the 1960s-1980s, and significantly increased in the 1990s, and then decreased since the beginning of the 21st century. (3) There were more occurrences of agricultural flood in the region south of the Yangtze River than in the regions north of it. The areas in which agricultural flood occurred most were the central and northern parts of Jiangxi, Jiangnan plain, Zhejiang coastal areas, and the junction of Anhui, Jiangxi and Zhejiang provinces as well.

**Keywords:** agricultural flood disaster; flood indicator; temporal and spatial analysis; the middle and lower reaches of the Yangtze River