

姜丽霞, 姜可心, 刘丹, 等. 2015. 2013 年黑龙江省主汛期降水异常特征及其对作物产量影响的分析. 气象, 41(1): 105-112.

# 2013 年黑龙江省主汛期降水异常特征 及其对作物产量影响的分析<sup>\*</sup>

姜丽霞<sup>1</sup> 姜可心<sup>2</sup> 刘 丹<sup>1</sup> 吕佳佳<sup>1</sup> 王晾晾<sup>1</sup> 宫丽娟<sup>1</sup> 李 帅<sup>3</sup>

1 黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨 150030

2 黑龙江省气象台, 哈尔滨 150030

3 哈尔滨市气象局, 哈尔滨 150080

**提 要:** 利用黑龙江省 77 个气象台站 1961—2013 年 6—8 月逐日降水资料, 采用降水集中度和集中期、统计回归等方法, 分析了 2013 年黑龙江省主汛期降水异常的气候统计和时空分布特征, 与 1998 年数据进行了对比分析, 并探讨评估了其粮食作物产量的影响。结果表明: 黑龙江省 2013 年主汛期雨日多、大范围连续强降水密集且早发, 降水异常偏多, 降水量为近 53 年的最高极值; 空间分布上不存在明显的经向或纬度变化规律, 降水高值区主要分布在松嫩平原, 沿江流域站点平均降水量略少; 时间变化上呈少—多—少的分布, 强降水集中期为 7 月上旬, 也是主汛期内降水最多时段。2013 年主汛期降水与 1998 年在时空分布上存在差异, 降水量、持续时间均超过 1998 年, 尤其表现在黑龙江流域, 但 1998 年降水的局地性和突发性较强。采用 FY-3A/MERSI 卫星数据持续跟踪监测作物被淹没面积, 以 WOFOST 模型模拟受淹前的平均单产, 依据淹没时间超过 7 d 时作物无有效产量进行估算, 2013 年黑龙江省 13 个行政区因流域性洪涝灾害导致水稻和玉米总损失产量合计达  $3.97 \times 10^9$  kg。

**关键词:** 黑龙江省, 主汛期, 降水异常, 产量

**中图分类号:** P49

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.01.013

## Analyses of Abnormal Rainfall and Its Influence on Crop Production During Main Flood Season of Heilongjiang Province in 2013

JIANG Lixia<sup>1</sup> CHEN Kexin<sup>2</sup> LIU Dan<sup>1</sup> LÜ Jiajia<sup>1</sup> WANG Liangliang<sup>1</sup> GONG Lijuan<sup>1</sup> LI Shuai<sup>3</sup>

1 Heilongjiang Institute of Meteorological Science, Harbin 150030

2 Heilongjiang Meteorological Observatory, Harbin 150030

3 Harbin Meteorological Bureau, Harbin 150080

**Abstract:** Based on daily precipitation data from June to August during 1961—2013 from 77 weather stations, using the methods of precipitation concentration period, precipitation concentration degree and statistical regression, this paper studies the distribution and variation of the main flood season precipitation and the comparison between 2013 and 1998, and analyses influence of abnormal precipitation on crop yield. The results show that rain days in 2013 are more than other years in Heilongjiang. A wide range of continuous heavy rain is more intensive and earlier. The precipitation is abnormally more, getting to the extreme value in the past 53 years. There aren't obvious spatial change characteristics in longitude or latitude. The areas with most precipitation are in Songnen Plain while the less rainfall areas are along the river basin. The temporal variation is in the style of less-more-less. The concentrated period of the severe rainfall is the

<sup>\*</sup> 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306036、GYHY201206018 和 GYHY201106026)及国家科技支撑计划项目(2012BAD20B0304)共同资助

2014 年 3 月 4 日收稿; 2014 年 8 月 6 日收修定稿

第一作者: 姜丽霞, 主要从事应用气象和气候变化研究. Email: jianglixia0326@aliyun.com

first dekad of July, when the most precipitation is collected during the whole flood season. There are differences in temporal-spatial distributions of precipitation in main flood season between 2013 and 1998. The amount and duration of precipitation in 2013 exceed the previous peaks in 1998, especially in Heilong River Valley. However the rainfall has some local features and sudden ones in 1998. By using FY-3A/MERSI satellite data and WOFOST crop model, this paper consistently monitors flooded crop planting area, and simulates crop yield in flooded regions, and on the basis of this, this paper evaluates the crop production losses. The sum of losses is  $3.97 \times 10^9$  kg.

**Key words:** Heilongjiang Province, main flood season, abnormal rainfall, crop yield

## 引 言

长期以来,降水异常事件一直是气象学领域的研究热点,许多国内外专家学者对此进行了多角度、多方面的深入研究,探讨揭示不同区域和不同时间尺度降水异常的机理、成因、特征和演变规律等(王钦等,2012;林志强等,2011;赵强等,2013;陈锐丹等,2012;汪靖等,2011;符仙月等,2013;何溪澄等,2006;周兵等,2012;王宏等,2013;袁媛等,2012;宋燕等,2008;贾小龙等,2008;Yamamoto et al,1999;Frei et al,2000;黄荣辉等,2013;龚志强等,2014;司东等,2014)。以往的一些研究结果表明,降水异常多表现为极强的局地性、集中性、复杂性、多变性和突发性,1998 年长江流域降水(周自江等,2000)、2003 年淮河流域降水(毕宝贵等,2004)、2012 年北方降水(王艳姣等,2013)均是明显个例,并且降水异常易引发洪水和洪涝灾害。

黑龙江省地处中高纬度地区,南北和东西跨越约 10 个纬度或经度,是典型的“气候脆弱区”,该省受西风带环流系统和副热带环流系统交替影响(宋丽华等,2002),降水存在复杂的时空分布特征和季节、年际变化。黑龙江省作为全国重要的粮食生产基地之一,在国家粮食生产中占有举足轻重的地位,2012—2013 年,其粮食总产量和输出量均居于全国首位,对保障国家粮食安全至关重要。近几年,黑龙江省降水异常事件频繁发生,表现为显著的各季节多水现象,2013 年主汛期(6—8 月)即出现了明显的异常降水,引发了历史少见的洪水,并发生了流域性洪涝灾害。据研究,洪涝对农田受淹作物会造成不可逆损害,当作物淹水达到一定程度时,其减产率即接近 100%(李永和等,2004),可见洪涝造成粮食产量损失之巨大。黑龙江省主汛期恰是粮食作物生长发育关键时期,2013 年粮食作物在此期遭受洪涝灾

害,产量的形成受到巨大影响。因此,洪水发生后,洪涝灾害对粮食产量的影响倍受政府和社会各界关注,降水异常特征、产量损失程度和评估方法等问题亟待分析解决。基于此,本文利用 2013 年和历史降水资料,分析揭示黑龙江省 2013 年主汛期异常降水时空分布特征,与 1998 年进行对比分析,并探讨流域性洪涝灾害对作物产量的影响,以期开展气象灾害的农业影响实时评估提供方法参考,为粮食安全生产的气象保障服务提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区概况

黑龙江省位于我国最北部( $53^{\circ}28' \sim 44^{\circ}06'N$ 、 $123^{\circ}11' \sim 134^{\circ}17'E$ ),气候属高纬度大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季严寒少雨,春秋季短,升、降温速度快。西部的松嫩平原和东部的三江平原是中国最大的东北平原的一部分。雨热同季的气候以及天然的土地资源对发展农业生产具有明显优势,盛产水稻、玉米等大宗粮食作物。江河湖泊众多,有黑龙江、乌苏里江、松花江、嫩江和绥芬河五大水系。

### 1.2 资料及来源

所用资料包括 1961—2013 年 6—8 月逐日降水、气温和日照数据,为了使研究结果尽可能地贴近事实,本文选用 77 个资料比较完整的气象台站作为研究站点(图 1)。资料来源于黑龙江省气象局整编资料。FY-3A/MERSI 数据来源于中国气象局佳木斯气象卫星地面站利用光缆传输的数据,为 2013 年 6—8 月的覆盖黑龙江省范围的 5 min 块数据,经过辐射定标和几何定位后,生成 HDF 格式的数据,再将所有影像转换成 WGS84 坐标系统,并利用地面采集的控制点进行统一的几何校正。

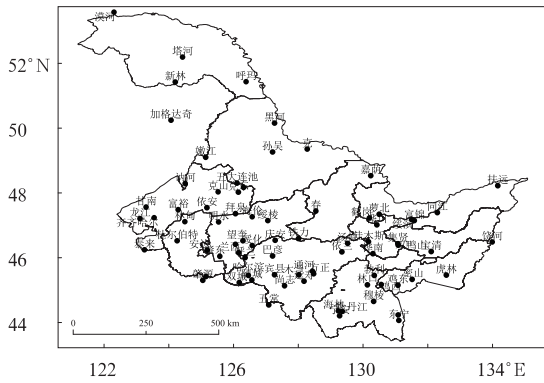


图 1 研究区站点分布示意图

Fig. 1 Schematic diagram of station classification of the study area

1.3 相关定义

黑龙江省的主汛期为 6—8 月,也即气象定义上的夏季。根据国家气象部门规定,24 h 降水量 25~49.9 mm 的降水为大雨,24 h 降水量 $\geq 50$  mm 的降水为暴雨。常年指具有气候意义的 1981—2010 年共 30 年的平均状况。本文定义  $R_{24\text{ h}} \geq 25$  mm 即为强降水事件,7 月为盛夏。

1.4 研究方法

张录军等(2004)定义了表征单站降水量时间分配特征的新参数——降水集中度和集中期。根据其原理依据本文研究需要做如下定义:

$$PCD_i = \sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2} / R_i \tag{1}$$

$$PCP_i = \arctan(R_{xi} / R_{yi}) \tag{2}$$

$$R_{xi} = \sum_{j=1}^9 r_{ij} \sin \theta_j$$
$$R_{yi} = \sum_{j=1}^9 r_{ij} \cos \theta_j \tag{3}$$

式中, $PCD_i$  和  $PCP_i$  分别为研究时段内的降水集中度和集中期, $R_i$  为某测站研究时段内总降水量, $r_{ij}$  为研究时段某旬内 $\geq 25$  mm 降水量, $\theta_j$  为研究时段内各旬对应的方位角(研究时段的方位角设为  $360^\circ$ ,每旬方位角为  $40^\circ$ ), $i$  为年份( $i=1961, 1962, \dots, 2013$ ), $j$  为研究时段内的旬序( $j=1, 2, \dots, 9$ )。式(1)和(2)能够反映大雨或暴雨在研究时段内各个旬的集中程度, $PCP$  能够指示出每个旬大雨或暴雨合成后的总体效应,反映了研究时段内最大降水量出现在哪一个时段内。

利用气候统计方法对研究区 1961—2013 年

6—8 月逐日降水量进行处理分析,按照研究需要及相关指标首先统计单站主汛期降水量、旬降水量、降水日数和暴雨日数等,在此基础上,对所有研究站点再进行相应的平均处理,然后采用气候变率(孙凤华等,2005)、Mann-Kendall 检测法、滑动  $t$  检验方法(符淙斌等,1992)和统计回归等方法,分析研究区降水的变化趋势和特征。采用 WOFOST 模型(李秀芬等,2005)定量模拟作物产量。上述方法在文献中均有详细说明,本文不再赘述。

截至洪涝发生时,以行政区为单元,利用 WOFOST 模型模拟黑龙江省受淹区域内的玉米和水稻 2013 年的无灾产量,即假定无洪涝灾害发生而能达到的理想产量,再基于卫星遥感数据监测被淹没农田面积,进而估算洪涝灾害对作物造成的产量损失。有关试验研究报道指出,水稻在抽穗开花期淹没 3 d 及以上,水稻基本没有有效产量(吴骞,2013;高德友等,2001);玉米在抽雄期积水 7 d 基本绝收(王成业,2010)。据此分析,对于 2013 年黑龙江省受淹区域来说,水稻正值抽穗开花期,玉米处于抽雄期,且被淹没天数为 7 d 及以上,因此被淹没区域内的水稻和玉米基本绝收,那么,在假设无洪涝灾害情况下所期望达到的产量,因受洪涝灾害影响将全部损失,即总的损失产量为:

$$Y = \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^2 A_{ij} y_{ij} \tag{4}$$

式中, $Y$  为黑龙江省 2013 年洪涝灾害所造成的水稻和玉米总损失产量, $i$  代表黑龙江省行政区域的序号( $i=1, 2, \dots, 13$ ), $j$  代表作物序号, $A_{ij}$  为各行政区内的水稻(或玉米)的淹没面积(单位: $\text{hm}^2$ ), $y_{ij}$  为模拟的各行政区内受淹区域的水稻、玉米无灾时的平均单产(单位: $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。

2 结果与分析

2.1 2013 年主汛期降水量与历年降水量变化对比

由图 2 可见,2013 年主汛期降水量为 447 mm,达到了研究区降水较少年份的全年降水量水平(如 2004 年年降水量为 443 mm),为近 53 年的峰值。1961 年以来主汛期研究区平均总降水量的变化呈波动式微弱下降特征(拟合效果未通过显著性水平检验),年际间振幅变化不平稳,降水量谷值出现在 2007 年,为 203 mm。存在 3 个变化时期:1961—

1980 年的降水减少期,气候倾向率为  $-62.5\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$  ( $P<0.01$ ),1981—2003 年为相对平稳期,但降水量维持在较高水平,2004—2013 年为增加期,气候倾向率为  $118.5\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$  (未通过显著性水平检验)。降水气候变率 1961—1980 年  $A$  为 50.0,1981—2003 年  $B$  为 56.8,2004—2013 年  $C$  为 77.4, $C$  分别约为  $A$  和  $B$  的 155%和 136%。相比而言,2013 年主汛期降水量比最低值偏多高达 244 mm,比常年值偏多 107 mm,比近 10 年均值偏多 125 mm,可见在近 53 年中,2013 年处于一个降水气候变率相对较高的时期,且降水偏多。利用  $t$  检验和 Mann-Kendall 法对降水序列进行突变检验表明,黑龙江省主汛期降水在 1966 年发生一次突变。

分析 1961—2013 年主汛期各旬降水量与总降水量的关系,发现除 6 月上、中旬外,其余各旬均与

总降水量具有显著或极显著的正相关关系 ( $P<0.05$  或  $P<0.01$ ), $R>0.382$  即达到极显著水平 (表 1),可见研究区盛夏降水对主汛期总降水的贡

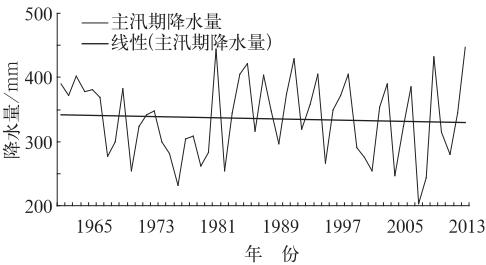


图 2 1961—2013 年研究区  
主汛期降水量的年际变化

Fig. 2 Interannual variation of precipitation  
amount in main flood season over the  
study area during 1961–2013

表 1 2013 年研究区主汛期总降水量与各旬降水量的相关系数  
Table 1 Correlation coefficient of total precipitation in main flood season and  
the dekad precipitation in the study area in 2013

时段	上/6	中/6	下/6	上/7	中/7	下/7	上/8	中/8	下/8
主汛期总降水量	0.184	0.246	0.534 **	0.382 **	0.273 *	0.405 **	0.443 **	0.576 **	0.340 *

注: \* 和 \*\* 分别为通过 0.05 和 0.01 显著性水平检验。  
Note: \* and \*\* have passing through the test at  $\alpha=0.05$  and  $\alpha=0.01$  significance level, separately.

献占主要作用。

2.2 2013 年主汛期降水异常分析

2.2.1 强降水事件集中度和集中期变化

图 3 给出了黑龙江省 2013 年强降水事件集中度和集中期空间分布,从图 3a 可以看出强降水事件集中度总体北部高于南部,共出现 4 个集中度较强的区域,分别处于大兴安岭地区(黑龙江上游)、三江

平原东北部(黑龙江下游)、松嫩平原和三江平原的中部,降水集中度 $>0.7$ ,且平原区降水集中的区域基本处于相同纬度之内,松嫩平原南部和牡丹江地区是降水集中度最弱的区域,降水集中度 $<0.4$ 。图 3b 显示 2013 年黑龙江省大雨集中期自西向东表现为“低-高-低”分布特点,大兴安岭地区、松嫩平原西部和三江平原部分地区是集中期较早的区域,集中期在 100 左右,说明这些区域强降水事件集中期在

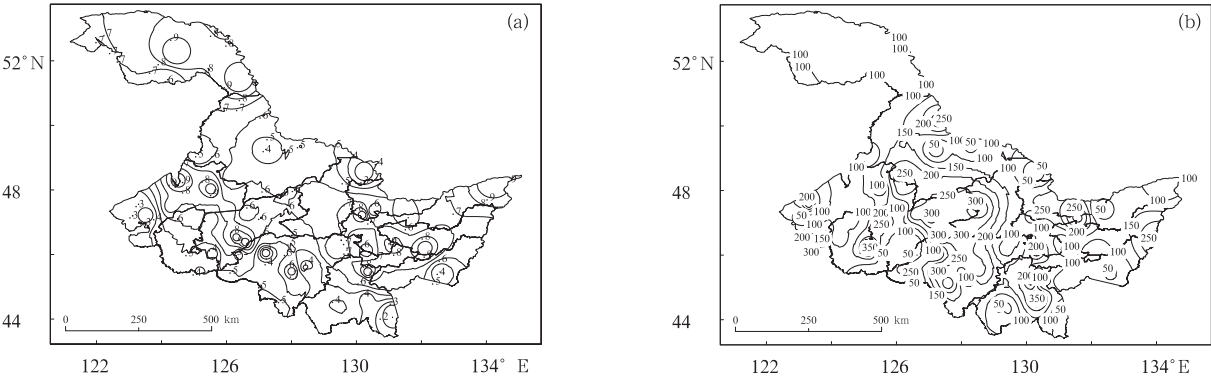


图 3 2013 年研究区强降水事件集中度(a)与集中期(b)的空间分布  
Fig. 3 Spatial distributions of PCD (a) and PCP (b) of severe  
rainfall events in the study area in 2013

6 月,其中嘉荫、逊克和肇源等沿江流域站点及牡丹江南部地区的集中期 $<40$ ,强降水事件集中期最早,为 6 月上旬,而松嫩平原东部、牡丹江北部、三江平原局部地区是强降水事件集中期最迟的区域,其值 $>240$ ,说明这些区域强降水事件集中期在 8 月。

统计分析 20 世纪 60 年代以来研究区主汛期强降水事件的集中期发现,2013 年研究区平均集中期为 143,约在 7 月上旬,这与杨金虎等(2007)的研究结论一致。各年代及常年研究区平均强降水事件集中期为 176~199,约在 7 月中旬,在长期的背景下,

2013 年强降水事件集中期提前。

2.2.2 降水时空分布特征

(1)时间分布特征

2013 年主汛期降水量在时间变化上呈少-多-少的分布,主汛期平均总降水量达 447 mm,7 月降水量所占比重近 50%,而 6 月仅占 20%,8 月占 30%,印证了研究区盛夏强降水集中的特点,同时说明 2013 年盛夏降水对主汛期总降水的贡献作用较大。详细分析 2013 年主汛期降水发现,大范围降水发生频繁,降水连续性明显,且降水集中、量级大(表 2)。

表 2 2013 年研究区主汛期主要集中降水过程

降水时段	暴雨落区	大雨站数	暴雨站数
6 月 30 日至 7 月 4 日	松嫩平原	57	20
7 月 16 日	嫩江、加格达奇	27	2
7 月 19—20 日	杜尔伯特、克东、北安、肇东、富裕	17	5
7 月 24—25 日	牡丹江大部、三江平原、青冈站	37	9
7 月 28 日	/	11	0
8 月 4—5 日	/	9	0
8 月 7 日	林口、庆安、延寿、巴彦、木兰	15	5
8 月 16—18 日	饶河	12	1
8 月 22 日	木兰	13	1

(2)空间分布特征

图 4 给出了 2013 年主汛期总降水量的空间分布和降水距平百分率。降水量不存在明显的经向或纬向变化规律,56 个站点降水量达 400 mm 以上,占研究区的 73%。降水的高值区处于研究区中部地带,高值中心出现在松嫩平原,海伦站降水最多,为 735 mm;一部分降水低值区集中在三江平原中部,其余零散分布在其他地区,抚远降水量为研究区最低值,仅 295 mm(图 4a)。研究区降水与常年相

比总体呈偏多态势(图 4b),仅抚远、双鸭山、肇州 3 站降水微弱偏少,正距平百分率 10%~50%的区域覆盖研究区 71%,而距平值在 50%以上的站点在研究区呈发散式分布,海伦和杜尔伯特两站正距平在 100%以上,有局地性特征。

如前所述,2013 年强降水事件集中期为 7 月上旬,此时期也为降水最多时段,二者的结果相吻合。分析表明,主汛期 7 月上旬降水的特点是集中性、连续性、范围广和量级大,具有明显西多东少的经向分

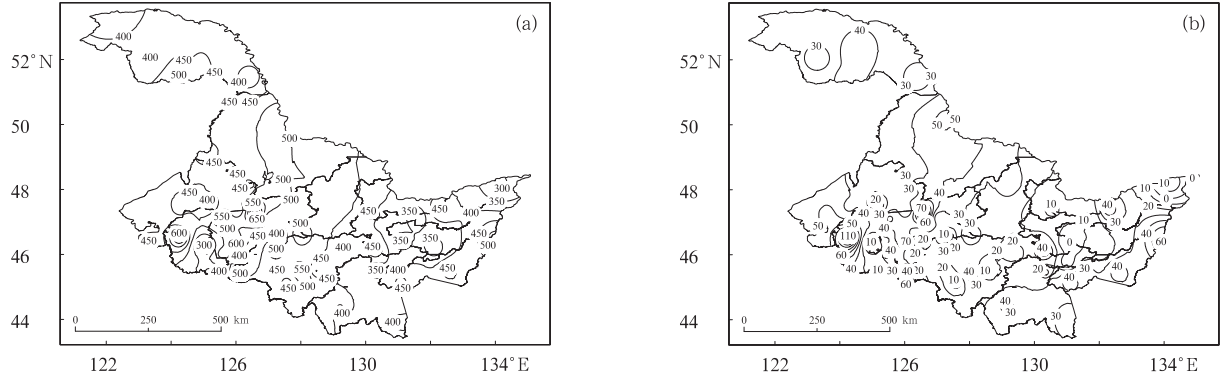


图 4 2013 年研究区主汛期降水量的空间分布(a)和降水距平百分率(b,单位:%)  
Fig. 4 Spatial distribution of rainfall amount in main flood season (a) and precipitation anomaly percentage (b) in the study area in 2013



布特征。降水日数多达 7~8 d,强降水事件主要集中于 7 月 1—4 日,降水落区覆盖研究区,高值区主要集中于松嫩平原,雨量中心围绕绥化地区中部向四周展开,南北、东西均跨越约 4 个纬度或经度,其中的 30 个站降水量超过 100 mm(图略),较常年同期偏多 100%~400%,降水最高值出现在哈尔滨地区的双城站,降水量高达 186 mm,为双城站近 53 年峰值。7 月 1—4 日 16 站出现暴雨,突发性强。

2.2.3 降水日数和暴雨日数

降水持续时间的长短是评价雨涝灾害轻重程度的一个因素(冯佩芝等,1985)。2013 年主汛期黑龙江省降水不断,研究区的总降水日数普遍>40 d,黑龙江、嫩江和松花江流域内的大部站点在 50 d 左右,尤其黑龙江上游超过 50 d,研究区的 75%站点比常年偏多 5 d 以上,其中黑龙江沿江的孙吴、黑河和逊克 3 站分别偏多 19、16 和 15 d,在历史上较为少见。此外,鸡东站和逊克站的降水日数是近 53 年最高值。

2013 年主汛期,研究区北部、松嫩平原大部和三江平原部分站点的暴雨日数为 1~3 d,占研究区的 70%,杜尔伯特和海林两站为 3 d,大部站的暴雨日数多于常年值,一般偏多 1 d。海林站的暴雨日数超历史极值。

2.3 与 1998 年对比分析

1998 年研究区主汛期降水在时间分布上与 2013 年呈相反的形势,降水多在 6 和 8 月(表 3),大范围连续性降水较少,降水日数有 31~58 d,平均比 2013 年偏少 5 d,其中黑龙江流域的大部站点比 2013 年偏少 10 d 以上,黑河、逊克、孙吴和呼玛等站

表 3 2013 年研究区主汛期各旬降水量  
与 1998 年比较(单位:mm)

Table 3 Comparison of every dekad precipitation in main flood seasons of 2013 and 1998 (unit: mm)			
时间	2013	1998	比较
上旬/6	19.0	33.1	-14.1
中旬/6	30.0	49.7	-19.7
下旬/6	35.5	25.9	9.6
上旬/7	88.3	79.5	8.8
中旬/7	48.7	10.2	38.5
下旬/7	77.0	28.4	48.6
上旬/8	62.4	85.7	-23.3
中旬/8	49.4	70.7	-21.3
下旬/8	37	21.8	15.2
主汛期	447.3	405.0	42.3

偏少 14~22 d;暴雨日数有 1~6 d,甘南、汤原、佳木斯、克山、富裕和泰来等 6 站的暴雨日数多于 2013 年,但出现暴雨的站数明显少于 2013 年。

1998 年主汛期降水的空间分布表现为明显西多东少,西部大部降水量高于 400 mm,而北部、东部大部站点降水量在 350 mm 以下。高值区聚集于松嫩平原,嫩江和松花江沿江区域降水较多,而沿黑龙江流域的部分站点降水量少,甚至低于 250 mm(图 5a)。比较 2013 年与 1998 年主汛期降水的空间分布可见,黑龙江流域 2013 年主汛期降水量明显多于 1998 年,沿江各站均偏多 100 mm 以上,其中逊克、嘉荫和绥滨 3 站偏多达 200 mm 以上;而嫩江、松花江流域附近的大部分站点却比 1998 偏少,依安、克东、甘南、汤原、龙江、肇州和富裕站偏少 100~300 mm(图 5b)。

总体而言,1998 年主汛期研究区降水的时空分布特征与 2013 年不同,降水量和持续时间均不及 2013 年,但 1998 年降水的局地性和突发性却较强。

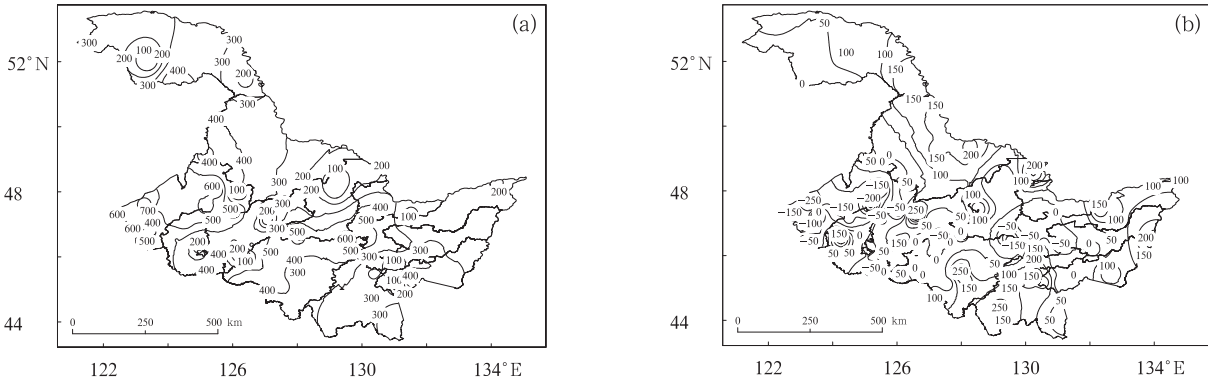


图 5 1998 年研究区主汛期降水量的空间分布(a)及 2013 与 1998 年降水差值(b)(单位:mm)  
Fig. 5 Spatial distribution of precipitation amount in main flood season in 1998 (a) and rainfall difference between 2013 and 1998 in the study area (b) (unit: mm)

2.4 洪涝灾害对作物产量的影响

降水异常导致黑龙江省发生流域性洪涝灾害,其对沿流域种植的粮食作物产量造成巨大影响。利用 FY-3A/MERSI(空间分辨率为 250 m)卫星数据对松嫩流域和黑龙江流域进行跟踪监测,结果显示,黑龙江省各行政区域内被洪水持续淹没的农田面积合计为  $6.22\times10^5\text{ hm}^2$ (表 4),被淹没作物为水稻和玉米(沿流域基本无大豆种植,可忽略不计,旱田淹没面积即为玉米面积),淹没时间超过 7 d,淹水深度基本达没顶程度。根据 1.4 节的方法,至洪水发生时,从气象角度,基于洪水发生前受淹区域的光、温和水条件,利用 WOFOST 模型模拟受淹各区域水稻、玉米的平均单产,同时模拟了相同区域 1971—

2012 年水稻和玉米的逐年平均单产,经与实际产量对比分析,模型模拟效果较好,准确率在 85%左右,说明模型可用于产量估算。基于上述模拟的平均单产,再利用式(4)计算得到因灾损失产量。通过计算,2013 年黑龙江省 13 个行政地区因洪涝灾害导致玉米减产合计约为  $2.59\times10^9\text{ kg}$ ,水稻减产合计为  $1.38\times10^9\text{ kg}$ (表 4)。选取哈尔滨市、佳木斯市和齐齐哈尔市 3 个行政区对估算结果进行验证,3 个地区所辖的部分市(县)分别处于松嫩流域和黑龙江流域,为玉米和水稻主产区,种植玉米和水稻最多,代表性较强。据官方实际统计的粮食减产数据,经验证,哈尔滨市、佳木斯市及齐齐哈尔市水稻和玉米的总损失产量的估算准确率分别为 85%、88%和 100%。

表 4 2013 年黑龙江省被淹没农田面积及损失产量

Table 4 Flood farmland area and total crop failure yield in Heilongjiang Province in 2013							
地区	水稻淹没 面积/hm <sup>2</sup>	受淹区域单产 /kg·hm <sup>-2</sup>	损失产量 /10 <sup>4</sup> kg	旱田淹没面积 (玉米)/hm <sup>2</sup>	受淹区域单产 /kg·hm <sup>-2</sup>	损失产量 /10 <sup>4</sup> kg	总损失产量 /10 <sup>4</sup> kg
大庆	32000	6080	19456	72667	6368	46274	65730
大兴安岭	0	0	0	667	4664	311	311
哈尔滨	42000	7793	32731	45333	8497	38521	71252
鹤岗	7333	5740	4210	32667	5222	17059	21268
黑河	1333	5095	679	14000	5084	7118	7797
鸡西	1333	6818	909	667	6125	408	1317
佳木斯	34667	6379	22114	60667	6189	37547	59660
牡丹江	1333	6234	831	1333	5192	692	1523
七台河	0	6880	0	0	6025	0	0
齐齐哈尔	51333	5966	30625	98667	5188	51190	81815
双鸭山	6667	7074	4716	4000	5214	2086	6802
绥化	31333	6875	21542	76667	7257	55639	77180
伊春	667	5892	393	4667	5183	2419	2812
合计	210000	76826	138206	412000	76209	259262	397468

3 结 论

(1) 1961 年以来主汛期研究区平均总降水量呈波动式微弱下降特征,年际间震荡明显,经历了降水减少—平稳—增加 3 个时期,2013 年主汛期降水量异常偏多,为近 53 年最大降水量,且处于一个降水气候变率相对较高的时期。近 53 年黑龙江省主汛期降水经历了 1 次突变。

(2) 黑龙江省主汛期境内降水是引发 2013 年夏季洪水的一个主要因素。2013 年研究区主汛期降水特点主要表现为雨日多、大范围连续强降水密集、强降水事件早发。在时间分布上为先逐渐增多后又下降的形势,空间上降水量高值区主要集中于

松嫩平原,研究区内非流域站点平均降水量略多于黑龙江和松嫩流域内站点的平均降水量, $R_{24\text{ h}}\geq 25\text{ mm}$  的强降水事件集中期在 7 月上旬,发生早于常年,强降水连续、集中、量级大,导致黑龙江、嫩江和松花江水位不断上涨,发生险情。

(3) 2013 年主汛期降水与 1998 年在时空分布上存在差异。比较而言,2013 年多水期早于 1998 年、降水持续时间长且强降水密集度高、降水量大,而 1998 年则表现为突发性强,暴雨日数多于 2013 年,但暴雨范围小。2013 年黑龙江流域降水强度和量级明显强于 1998 年,而松花江流域相对较轻。

(4) 降水异常偏多导致黑龙江省发生流域性洪涝灾害,沿流域种植的粮食作物水稻和玉米的产量受到巨大影响。在洪水期间,采用 FY-3A/MERSI

卫星数据持续跟踪监测作物受淹没面积,得到被淹没的玉米田和水稻田面积合计为  $6.22 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 且淹没时间超过 7 d, 玉米和水稻基本绝收。以 WOFOST 模型模拟玉米和水稻受淹前的平均单产, 利用式(4), 经过估算, 2013 年黑龙江省 13 个行政区因洪涝灾害导致玉米减产合计达  $2.59 \times 10^9 \text{ kg}$ , 水稻减产合计达  $1.38 \times 10^9 \text{ kg}$ 。经验证, 对沿流域粮食主产区减产的估算准确率在 85% 以上, 效果理想, 方法可用。

本文从气象灾害对农业影响评估的角度出发, 分析了异常降水特征及其对粮食产量的影响, 对洪水成因未做探讨, 此工作有待进一步深入研究。

## 参考文献

- 毕宝贵, 矫梅燕, 廖要明, 等. 2004. 2003 年淮河流域大洪水的雨情、水情特征分析. 应用气象学报, 15(6): 681-687.
- 陈锐丹, 温之平, 陆日宇, 等. 2012. 华南 6 月降水异常及其与东亚-太平洋遥相关的关系. 大气科学, 36(5): 974-984.
- 冯佩芝, 李翠金, 李小泉, 等. 1985. 中国主要气象灾害分析 1951—1980. 北京: 气象出版社, 29-42.
- 符添斌, 王强. 1992. 气候突变的定义和检测方法. 大气科学, 16(4): 482-493.
- 符仙月, 布和朝鲁. 2013. 中国大范围持续性低温事件与中国南方降水异常. 大气科学, 37(6): 1247-1260.
- 高德友, 赵新华, 段祥茂, 等. 2001. 抽穗期洪涝对水稻产量及其构成因素的影响. 耕作与栽培, 2001, (5): 31, 47.
- 龚志强, 王艳娇, 王遵娅, 等. 2014. 2013 年夏季气候异常特征及成因简析. 气象, 40(1): 119-125.
- 何溪澄, 丁一汇, 何金海, 等. 2006. 中国南方地区冬季风降水异常的分析. 气象学报, 64(5): 595-604.
- 黄荣辉, 刘永, 冯涛. 2013. 20 世纪 90 年代末中国东部夏季降水和环流的年代际变化特征及其内动力成因. 科学通报, 58(8): 617-628.
- 贾小龙, 张培群, 陈丽娟, 等. 2008. 2007 年我国秋季降水异常的成因分析. 气象, 34(4): 86-94.
- 李秀芬, 王育光, 季生太, 等. 2005. 作物长势监测系统 (CGMS) 在黑龙江省的应用. 中国农业气象, 26(3): 155-157.
- 李永和, 石亚月, 陈耀岳. 2004. 试论洪涝对水稻的影响. 自然灾害学报, 13(6): 83-87.
- 林志强, 唐叔乙, 何晓红, 等. 2011. 西藏高原汛期水汽输送特征与降水异常. 气象, 37(8): 984-990.
- 司东, 袁媛, 崔童, 等. 2014. 2013 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象, 40(4): 494-501.
- 宋丽华, 刘玉莲, 张健, 等. 2002. 黑龙江省夏季降水的主相关型及其环流特征. 黑龙江气象, (3): 15-23.
- 宋燕, 李智才, 朱临洪, 等. 2008. 山西省夏季年际气候异常研究 2. 北少(多)南多(少)雨型. 气象, 34(2): 61-68.
- 孙风华, 杨素英, 陈鹏狮. 2005. 东北地区近 44 年的气候暖干化趋势分析及可能影响. 生态学杂志, 24(7): 751-755.
- 汪靖, 吕江津. 2011. 天津地区雨季降水异常年大气环流特征分析. 气象, 37(8): 950-955.
- 王成业. 2010. 洪涝灾害对夏玉米生长发育及产量的影响. 河南农业科学, 8: 20-21.
- 王宏, 赵岩, 李宗涛, 等. 2013. 河北冬季降水异常特征及其与环流和海温异常的关系. 气象, 39(9): 1197-1203.
- 王钦, 李双林, 付建建, 等. 2012. 1998 和 2010 年夏季降水异常成因的对比分析: 兼论两类不同厄尔尼诺事件的影响. 气象学报, 70(6): 1207-1222.
- 王艳姣, 周兵, 司东, 等. 2013. 2012 年夏季我国降水异常及成因分析. 气象, 39(1): 118-122.
- 吴骞. 2013. 洪涝灾害对水稻发育期及产量结构影响的评估分析. 上海农业科技, (1): 30-34.
- 杨金虎, 李耀辉, 王鹏祥, 等. 2007. 中国极端强降水事件年内非均匀性特征分析. 自然资源学报, 22(4): 623-633.
- 袁媛, 任福民, 王艳姣, 等. 2012. 2012 年华南前汛期降水特征及环流异常分析. 气象, 38(10): 1247-1254.
- 张录军, 钱永甫. 2004. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究. 地球物理学报, 47(4): 622-630.
- 赵强, 严华生, 程路. 2013. ENSO 发展和衰减阶段的陕西夏季降水异常特征. 应用气象学报, 24(4): 495-503.
- 周兵, 王晓敏, 刘秋峰, 等. 2012. 2011 年 7 月七大江河流域气候特点及降水异常成因分析. 气象, 38(5): 608-614.
- 周自江, 宋连春, 李小泉. 2000. 1998 年长江流域特大洪水的降水分析. 应用气象学报, 11(3): 287-296.
- Frei C, Davies H C, Gurtz J, et al. 2000. Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. Integrated Assessment, 1(4): 281-300.
- Yamamoto R, Sakurai Y. 1999. Long-term intensification of extremely heavy rainfall intensity in recent 100 years. World Resource Res, 11: 271-281.