

朱海霞,姜丽霞,曲辉辉,等,2019. 黑龙江省水稻生育阶段极端降水事件时空特征[J]. 气象,45(4):522-532. Zhu H X, Jiang L X, Qu H H, et al, 2019. Spatio-temporal distribution of extreme precipitation events during growing season of rice in Heilongjiang Province[J]. Meteor Mon, 45(4):522-532(in Chinese).

黑龙江省水稻生育阶段极端降水事件时空特征^{*}

朱海霞^{1,2,3} 姜丽霞^{1,2,3} 曲辉辉^{1,2,3} 王晾晾^{1,2,3} 纪仰慧^{1,2,3} 闫平^{1,2,3}

1 中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室, 哈尔滨 150030

2 黑龙江省气象院士工作站, 哈尔滨 150030

3 黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨 150030

提 要: 利用百分位相对指数法, 基于 1971—2016 年历史长序列的日降水资料, 分析研究黑龙江省水稻生长季极端降水事件的阈值、频数和强度的时空特征。结果表明: 黑龙江省极端降水事件阈值的高值区主要位于松嫩平原中南大部; 极端降水事件主要集中于水稻生长季的 5—9 月, 尤其是在水稻生殖生长的关键阶段, 发生了大部分的极端降水事件; 46 年中, 水稻种植区极端降水事件频数在 18~72 d, 极端降水事件频数总体呈经向分布特征, 自东向西逐渐减少。7 月下旬为中西部地区极端降水事件发生的高频时段, 东部地区极端降水事件发生的高频时间段为 5 和 9 月, 6 月为极端降水事件发生的低频时段。近 6 年为极端降水事件频数最高、强度最大的一段时期, 20 世纪 70 年代则反之; 极端降水事件频数和强度存在高度的相关性; 在有雨量观测的小区域内, 洪涝灾害事件基本可以被极端降水事件捕捉到, 同时极端降水事件对洪涝灾害的指示性也较高。

关键词: 水稻, 洪涝, 极端降水事件, 频数, 强度

中图分类号: P49, S16

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.04.007

Spatio-Temporal Distribution of Extreme Precipitation Events During Growing Season of Rice in Heilongjiang Province

ZHU Haixia^{1,2,3} JIANG Lixia^{1,2,3} QU Huihui^{1,2,3}

WANG Liangliang^{1,2,3} JI Yanghui^{1,2,3} YAN Ping^{1,2,3}

1 Innovation and Opening Laboratory of Regional Eco-Meteorology in Northeast China, CMA, Harbin 150030

2 Meteorological Academician Workstation of Heilongjiang Province, Harbin 150030

3 Heilongjiang Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030

Abstract: The extreme precipitation event (EPE) is defined by relative index method of percent. This paper analyzes spatio-temporal characteristics by the indicators of threshold, frequency and intensity based on the daily rainfall data during growing season of rice in Heilongjiang from 1971 to 2016. The results show that high value of EPE threshold appears mainly in Central South Songnen Plain. The EPE happens mainly from May to September during growing season of rice, especially in the key reproductive growth stage of rice. During the 46 years, frequency of the EPE ranges from 18 to 72 days, showing the characteristics of meridional distribution and decreasing gradually from the east to the west. Usually, frequency of the EPE is the highest in late July over central and western regions, and that is the highest in May and September for the eastern regions. The lowest frequency of EPE is in June, so June is a safe period for rice

^{*} 国家自然科学基金项目(31671575)、中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室开放研究基金项目(stqx201804)和中央级公益性科研院所基本科研业务费区域合作项目(2018SYIAEHZ1)共同资助

2018 年 2 月 29 日收稿; 2019 年 2 月 21 日收修定稿

第一作者: 朱海霞, 主要从事农业气象研究. Email: hxzhu0301@126.com

通信作者: 闫平, 主要从事农业气象灾害研究. Email: Di-chun@163.com

production. As for the interdecadal difference from 1971 to 2016, the frequency is the most in recent 6 years, and the intensity is the largest for EPE, but in 1970s the situation is opposite. Thus, there is a high correlation between frequency and intensity of EPE. For small regions with rainfall observation, flood disaster can mostly be designated with EPE, and emergence of EPE possibly indicate flood disaster.

Key words: rice, flooding disaster, extreme precipitation event (EPE), frequency, intensity

引言

在全球气候变化影响下,中高纬度地区热量显著增加,加之雨热同季的气候及丰富的水系,使喜温的水稻在东北地区得到迅速发展,尤其黑龙江省现已成为全国最大的水稻产区和商品稻区,年总产量约达 3×10^7 t,对国家粮食安全起着不可或缺的作用。东北地区主要的农业气象灾害为干旱、低温冷害和洪涝灾害,其中致洪暴雨、持续性大雨及连阴雨是洪涝灾害发生的直接原因(霍治国等,2017)。在东北地区,夏季降水集中和极端气候事件极易导致洪涝频发,其中黑龙江省境内更有黑龙江、松花江、嫩江、乌苏里江和绥芬河等五大水系(张英红,2000),且均流经粮食主产区,而该省恰处于中高纬度地区,南北和东西跨越约 10 个纬度或经度,气候较为脆弱,降水存在复杂的时空分布特征(袁美英等,2010),夏季多雨,且大雨、暴雨较为集中,加之松嫩平原和三江平原地势平坦,农田排水困难,因此较易形成流域性洪涝灾害,对周边作物产量造成影响,其中水稻产量因洪涝平均受损 10% 以上,可见洪涝灾害对作物安全生产威胁巨大。

国内外许多专家学者先后对洪涝灾害的影响开展了大量的研究(段德寅等,1999;徐宗学和程磊,2010;李维京等,2015;Felipe-Omar et al, 2011)。近 20 年中,对于洪涝灾害影响分析的大量研究主要集中于灾害评估体系的构建(刘会玉等,2005;李军玲等,2010;杨若子和周广胜,2015)、经济损失的计量(Mustafi and Azad, 2003)和遥感监测方法研究(李加林等,2014)等方面。2010 年以来,对于洪涝灾害的研究不断深入,许多专家学者从多角度、多方向上对洪涝变化趋势和特征(邱海军等,2014;周悦等,2016)、风险区划(俞布等,2011;李兰等,2013;谢五三等,2017)、监测和损失评估(黄大鹏等,2011;Ishikawa et al, 2013; Brody et al, 2014)等开展了更为详尽细致的研究,获得了许多有意义的成果,但关于寒地水稻洪涝的致灾机制、致灾的临界阈值等

问题上仍较模糊,其相关研究基本未见。鉴于此,本文以日降水量为研究对象,利用百分位法(Easterling et al, 2000;杨志刚等,2014)定义极端强降水事件阈值和极端降水事件指数,较为客观地分析黑龙江省水稻生长季极端降水事件特征,进而探讨极端降水事件对洪涝灾害事件的指示性,为寒地水稻安全生产、合理种植及结构调整等方面提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料选取

降水资料来自黑龙江省气象局整编的 1971—2016 年气象站逐日降水量观测数据;研究区域为 50.25°N 以南的黑龙江省水稻种植区,共计 74 个气象观测站点。需要说明的是,黑龙江省现分为 13 个行政区,按照其地理位置划分,齐齐哈尔、绥化、大庆和哈尔滨属松嫩平原;鹤岗、佳木斯、双鸭山、七台河和鸡西属三江平原;牡丹江地区属牡丹江半山区;大兴安岭、黑河和伊春为大小兴安岭。根据水稻播种面积和产量情况,本文将松嫩平原、三江平原和黑河地区归为水稻主要农业种植区。大兴安岭地区为水稻的非种植区域,本研究不予分析。

1.2 研究方法

1.2.1 极端降水事件阈值的计算方法

确定极端降水事件的阈值主要采用基于百分位的相对指数法(Easterling et al, 2000;杨志刚等,2014;张宇彤等,2016),即将 1981—2010 年黑龙江省各地气象观测站逐年湿日(日降水量 ≥ 0.1 mm)降水量作为一个序列,对该序列进行升序。

$$P = (m - 0.31) / (n + 0.38) \quad (1)$$

式中, P 为对应百分数, m 为该序列升序之后的序号, n 为样本长度。利用式(1)计算出各站 1981—2010 年历年降水的第 99 个百分位值的 30 年平均值,将该值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日

降水量超过这一阈值时被称为极端降水事件,并计为一次极端降水事件。

1.2.2 极端降水事件指数类别与计算方法

为了研究水稻生长季极端降水事件,定义了 3 种极端降水事件指数,即:极端降水事件阈值、极端降水事件频数和极端降水强度,具体定义详见表 1。

表 1 极端降水指数定义

Table 1 Definition of extreme precipitation indices

指数	定义
极端降水事件阈值	百分位相对指数法[由式(1)计算而得]
极端降水事件频数	日降水量超过极端降水阈值的日数
极端降水事件强度	某年极端降水总量与该年极端降水出现日数之比

1.3 研究时段和图形制作方法

1.3.1 研究时段

5—9 月是黑龙江省水稻生长发育的主要阶段,该时期也恰是黑龙江省极端降水出现的主要时期,因此将 5—9 月定义为水稻的生长季;在黑龙江省,7 月 6 日至 8 月 15 日是水稻孕穗、抽穗、扬花时期,其是水稻生殖生长的关键阶段,故将该时段定义为水稻的生殖生长关键阶段。本文以水稻生长季、生殖生长关键阶段及生长季各旬为研究时段,分析不同阶段极端降水事件的时空特征。

1.3.2 图形制作方法

气候倾向率为线性方程斜率的 10 年,其物理意义表示随着时间的增加,某气候要素升高或下降的速率(魏凤英,2007)。利用 Excel 制作 46 年各要素气候倾向率,绘制水稻生长季极端降水事件频数的趋势图;利用 ArcGIS 绘制极端降水事件阈值、极端降水事件频数、极端降水事件强度及其气候倾向率的空间分布图。

2 结果与分析

2.1 极端降水阈值的空间分布

从黑龙江省极端降水事件阈值的空间分布(图 1)中可看出,水稻农业种植区极端降水事件阈值在 29.3~59.7 mm,极端降水阈值的高值区位于松嫩平原西南部,龙江、肇州和肇东阈值高于 55 mm;极端降水事件低值区主要位于高海拔地区的伊春大部及东部个别地区,阈值少于 40 mm。

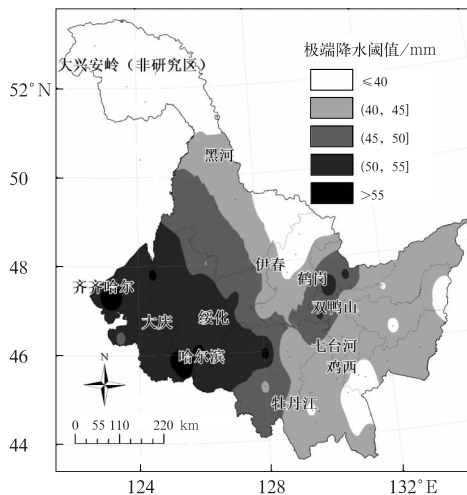


图 1 1981—2010 年黑龙江省极端降水事件阈值的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of threshold of extreme precipitation event (EPE) in Heilongjiang Province from 1981 to 2010

2.2 水稻生长季降水事件指数的空间分布特征

2.2.1 极端降水事件频数的空间分布

图 2a 给出了 1971—2016 年黑龙江省水稻生长季极端降水事件频数的空间分布。从图中可以看出,黑龙江省极端降水事件频数在 18~72 d,总体呈经向分布特征,自东向西逐渐减少,且呈低海拔向高海拔逐渐增加的特征。极端降水频数多于 50 d 的区域分布在伊春和三江平原东部,极端降水事件低值区主要位于黑龙江省松嫩平原中西大部,频数在 30 d 以下,可见松嫩平原中西大部在 1971—2016 年水稻遭遇洪涝的频率较少。另分析发现,各气象站 5—9 月极端降水事件频数与全年极端降水事件频数基本一致(表略),表明全年极端降水时间落区基本在水稻的生长季(5—9 月),其余时间段里不发生或很少发生极端降水事件,这在一定程度上反映了水稻生长季即是黑龙江省极端降水事件的高发时段,并充分指示了水稻在生长季节遭遇洪涝灾害的风险性。

图 2b 给出了 1971—2016 年黑龙江省水稻生长季各地极端降水事件频数的气候倾向率空间分布。从图中可看出,负值区处于松嫩平原东部和三江平原中部,表明该区 46 年中极端降水事件频数总体呈减少趋势;其他地区为正值,表明极端降水事件频数

总体呈增加趋势。从范围来看,极端降水事件频数增加的区域明显大于减少区域,可见,在研究期间,研究区以极端降水频数增加为主导,这在某种程度上指示了研究区洪涝灾害的频发性。

2.2.2 水稻生长季极端降水强度的空间分布

1971—2016年,研究区水稻生长季极端降水事件降水强度基本呈西高东低分布(图3a),在 $40.2 \sim 78.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,伊春大部、牡丹江地区、鸡西西部降水强度较小,在 $50 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 以下;高值区则位于松嫩平原局部,其中讷河、富裕、林甸、肇州、肇东、巴

彥、木兰的强度高于 $70 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,为黑龙江省极端降水最强的区域。由图3b可见,极端降水强度总体减弱的区域处于偏东位置,主要分布于三江平原及松嫩平原东部,而松嫩平原中西大部、黑河地区及牡丹江地区极端降水强度总体呈增加趋势,该趋势能够反映出上述地区水稻遭遇洪涝的风险性增加,其中,逊克、明水、安达、杜尔伯特、富裕、甘南和齐齐哈尔为 $5 \sim 9.71 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,极端降水强度增强趋势十分明显。

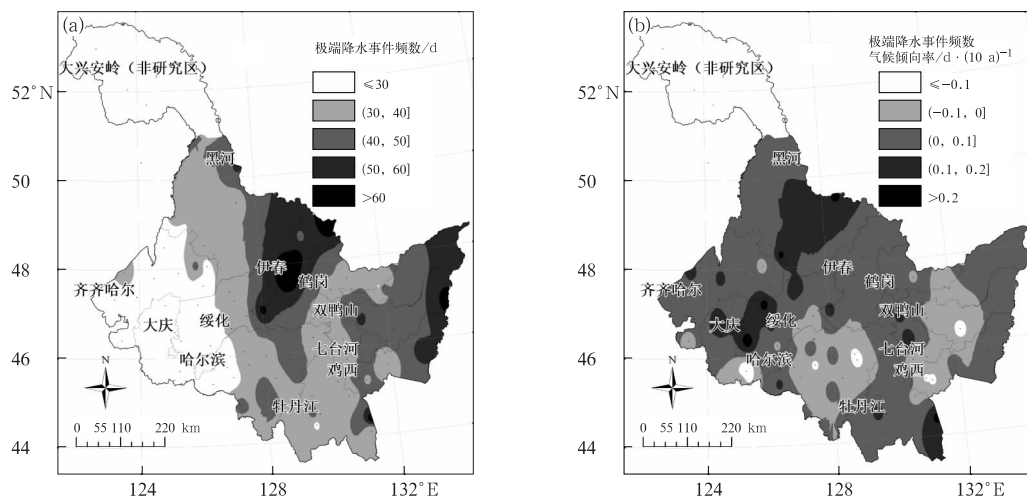


图2 1971—2016年黑龙江省水稻生长季极端降水事件频数(a)及其气候倾向率(b)

Fig. 2 Spatial distribution of frequency (a) and climate tendency rate (b) of EPE during growing periods of rice in Heilongjiang Province from 1971 to 2016

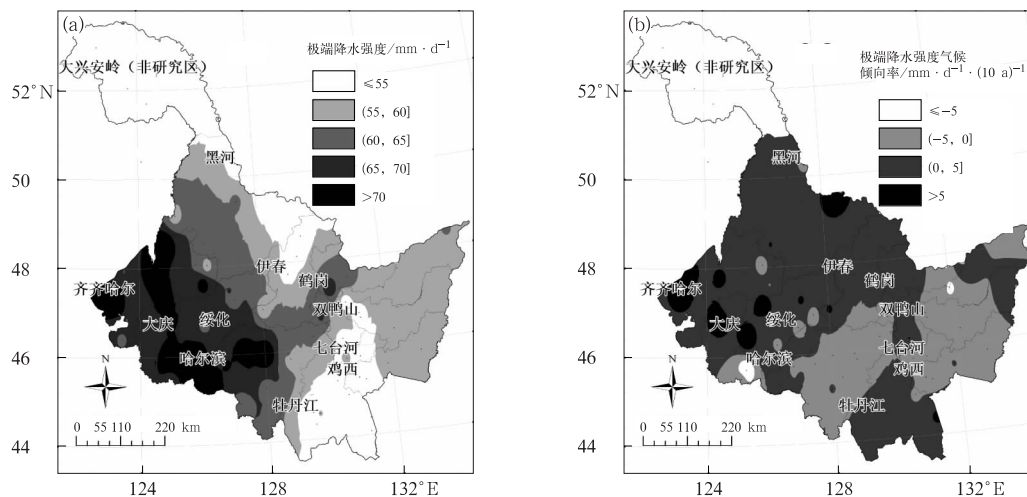


图3 同图2,但为极端降水强度

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for intensity of EPE

2.3 水稻生殖生长关键阶段降水事件指数的空间分布特征

2.3.1 水稻生殖生长关键阶段极端降水事件频数的空间分布

图4a给出了1971—2016年黑龙江省水稻生殖生长关键阶段极端降水事件频数的空间分布。可看出,水稻种植区极端降水事件频数在11~45 d,总体呈低海拔向高海拔逐渐增加的特征。松嫩平原中西大部极端降水频数少于20 d,其他农业种植区极端降水事件频数维持在20~30 d,说明研究区中东

大部水稻关键阶段的极端降水事件比西部偏多,易发生水稻洪涝灾害。

从气候倾向率空间分布来看(图4b),研究期间,研究区西部和东部边界地带气候倾向率为正值,表明上述区域水稻生殖生长的关键阶段遭遇极端降水事件的风险呈增加趋势,其他区域极端降水事件频数总体呈减少趋势。

2.3.2 水稻生殖生长关键阶段极端降水强度的空间分布

研究期间,研究区水稻生殖生长关键阶段极端降水强度呈西高东低态势(图5a),在 $41.2 \sim 84.6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,

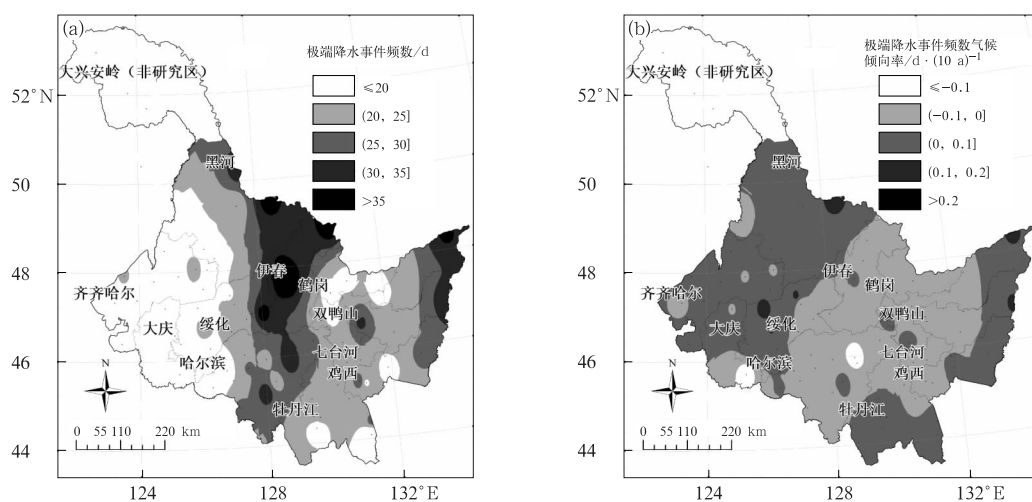


图4 1971—2016年黑龙江省水稻生殖生长关键阶段极端降水事件频数(a)及其气候倾向率(b)

Fig. 4 Spatial distribution of frequency (a) and climate tendency rate (b) of EPE during reproductive growth stage of rice in Heilongjiang Province from 1971 to 2016

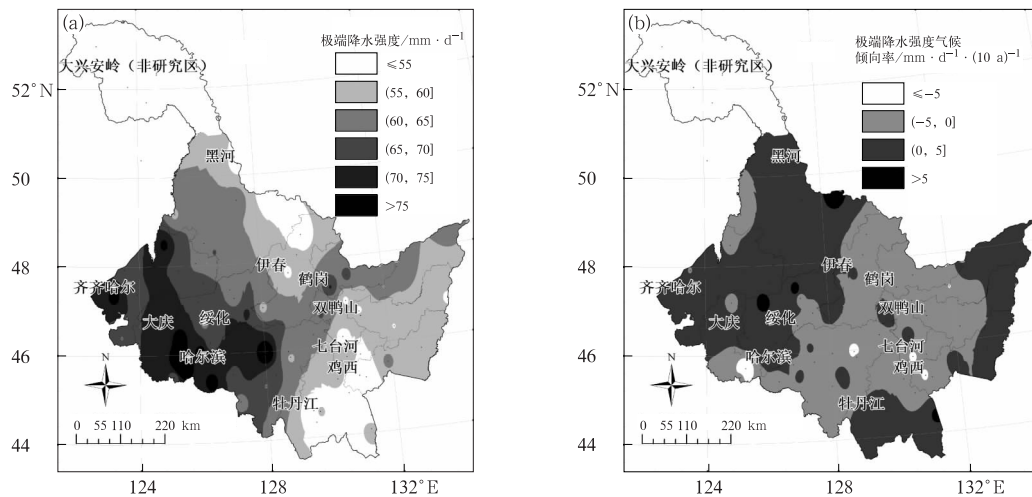


图5 同图4,但为极端降水强度

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for intensity of EPE

松嫩平原、黑河南部、三江平原北部降水强度较高,在 $60\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 以上,其中松嫩平原南部降水强度最大,高于 $75\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$,在该区的水稻生育关键期,降水会对水稻构成威胁。气候倾向率的空间分布表明,1971—2016 年,在水稻生殖生长关键阶段,松嫩平原中西部、黑河大部、三江平原东部和牡丹江南部极端降水强度总体呈增加趋势,其中,逊克、明水和绥芬河为 $5\sim 7.58\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,水稻生育关键期遭遇降水的强度逐渐增加,洪涝灾害的风险加大;而三江平原中西部及松嫩平原东部极端降水强度总体减弱,发生洪涝灾害的风险降低(图 5b)。

2.4 水稻生殖生长关键阶段极端降水事件频数在水稻生长季中发生的比重

由研究区 14 个代表站水稻生殖生长关键阶段的极端降水事件频数占水稻生长季极端降水事件频数百分比可见(表 2),除了佳木斯和东宁,其余代表站均在 49% 以上,其中,林甸、庆安、绥化、哈尔滨、勃利和五常超过了 60%,绥化高达 80.6%,说明 7 月 6 日至 8 月 15 日,共计 41 d 的水稻生殖生长关键阶段发生了 5—9 月的大部分的极端降水事件,这一方面反映了极端降水事件密集于水稻孕穗、抽穗和扬花等关键生长期内,另一方面也表明了水稻生

殖生长关键阶段频发的极端降水使水稻受到威胁的机率明显增加。

2.5 黑龙江省水稻生长季 5—9 月极端降水指数的时间变化特征

为了更好地分析黑龙江省水稻生长季内逐旬极端降水事件指数时间变化和地域特征,选取代表性较强的 14 个气象站点作为研究对象,按其地理位置将研究区划分为 7 个区域,每个区域选择 2 个气象站点,即:黑龙江省北部(五大连池和嘉荫)、西南部(齐齐哈尔和林甸)、中部偏西地区(绥化和庆安)、南部(哈尔滨和五常),上述 8 个站主要位于黑龙江省中西部;黑龙江省东北部(佳木斯市和集贤)、中部偏东地区(勃利和密山)及东南部(宁安和东宁),此 6 个站主要位于黑龙江省东部,14 个站基本覆盖了黑龙江省水稻种植的主要产区。

由图 6a 可见,1971—2016 年,以松嫩平原为主的黑龙江省中西部地区,7 和 8 月是极端降水事件高发期,其中 7 月下旬最高,8 个气象站中嘉荫居首,为 16 d;9 月为极端降水事件次高期,嘉荫仍以每旬 9~11 d 居首;6 月为低发期,除嘉荫外,其他站点各旬均为 0~3 d;5 月林甸和五常频数较高,各旬分别为 6 和 9 d,其他站点为 1~3 d。各站点比较来看,嘉荫站除 6 月外,其余时段里极端降水事件的频数均表现为较高或最高。

图 6b 显示,研究期间,以三江平原为主的黑龙江省东部地区极端降水事件的高发期为 5 和 9 月,其中 9 月各旬频数为 6~14 d,5 月各旬除宁安频数为 20 d 外,其余站点为 6~15 d;7 月为次高期,各旬多为 4~8 d;6 月低发期,各旬多为 0~2 d。

图 7 为 14 个气象站点极端降水事件频数和强度的年际变化,1971—2016 年,水稻生长季里极端降水事件频数高于 1.1 d 的有 5 年,为 1981、1988、1998、2002 和 2012 年,其中 2012 年频数最高,为 1.7 d;频数低于 0.5 d 的有 8 年,包括 1973、1975、1976、1979、1995、1999、2008 和 2011 年,其中 2008 年频数最低,仅为 0.1 d。极端降水强度超过 $40\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 的有 7 年,包括 1981、1985、1988、1994、1996、2012 和 2015 年,其中 2012 年极端降水强度最高,达 $79.4\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$;极端降水强度不足 $20\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 的有 6 年,为 1973、1975、1976、2001、2008 和 2011 年,其中 2008 年极端降水强度最低,不足 $10\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。水稻生长季极端降水事件频数

表 2 1971—2016 年黑龙江省代表站水稻生殖生长关键阶段极端降水事件频数与生长季极端降水事件频数之比
Table 2 Percent of frequency of extreme precipitation event during reproductive growth stage to frequency of EPE during growing periods of rice at representative stations in Heilongjiang Province from 1971 to 2016

代表站	占比/%
五大连池	58.1
嘉荫	58.3
齐齐哈尔	57.1
林甸	71.4
绥化	80.6
庆安	60
佳木斯	41
集贤	57.1
哈尔滨	68
勃利	61.1
密山	48.5
五常	62.8
宁安	57.1
东宁	36.7

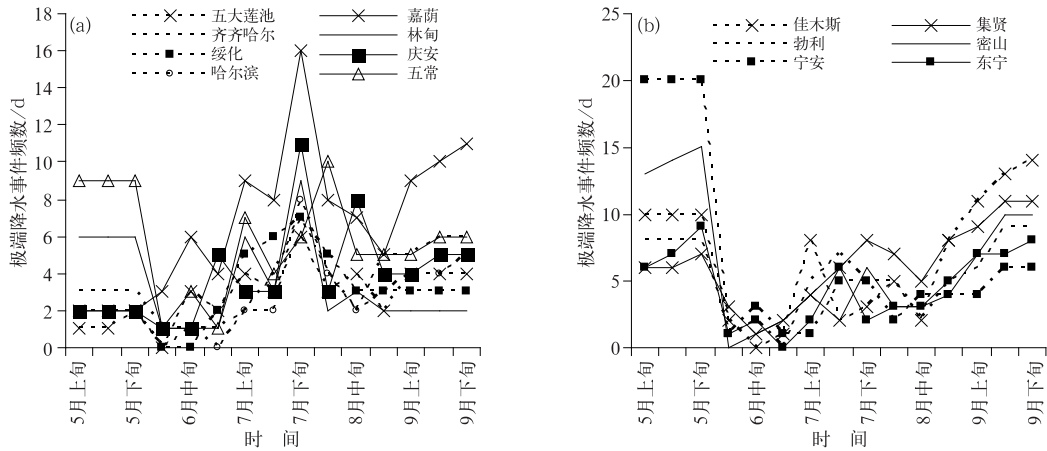


图 6 1971—2016 年黑龙江省水稻生长季里各旬极端降水事件频数的时间差异
(a)中西部,(b)东部

Fig. 6 Temporal difference of frequency of the dekad EPE during growing periods of rice in Heilongjiang Province from 1971 to 2016

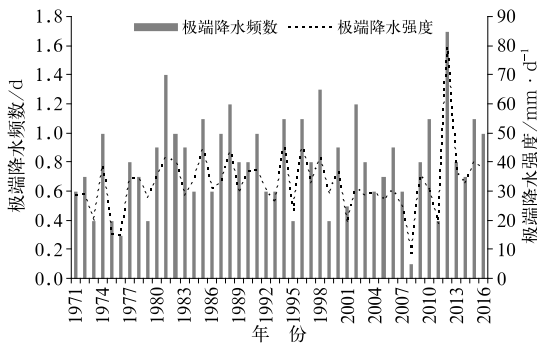


图 7 1971—2016 年黑龙江省水稻
生长季里极端降水事件频数和
强度的年际差异

Fig. 7 Interannual difference of frequency and intensity of extreme precipitation events during growing season of rice in Heilongjiang Province from 1971 to 2016

表 3 1971—2016 年黑龙江省水稻生长季
极端降水事件频数和强度的年代际差异
Table 3 Interdecadal difference of frequency
and intensity of EPE during growing season
of rice in Heilongjiang Province
from 1971 to 2016

年份	极端降水事件 频数/d	极端降水强度 /mm · d ⁻¹
1971—1980 年	0.6	27.6
1981—1990 年	0.9	36.1
1991—2000 年	0.8	34.7
2001—2010 年	0.7	26.4
2011—2016 年	1.0	40.8

2.6 极端降水事件与洪涝灾害的关联性分析

考虑黑龙江省水稻种植状况、气象灾害资料的现状和数据的完整性等实际问题,本文选择 14 个代表站中的庆安县和佳木斯市辖区为主要研究对象(表 4),分析 1984—2006 年洪涝灾害事件与极端降水事件的关联性。2006 年庆安县水稻播种面积占全县总耕地面积的 50%,在 14 个站点中水稻种植面积比例最多;2006 年佳木斯市辖区的水稻播种面积约占总耕地面积的 30%,但该地区洪涝灾害事件在时间上的记录较完整,且佳木斯辖区面积在 14 个站点中最小,其气象站点监测的降水数据对该区域降水量大小程度的指示作用强于其他区域,更有利于分析和比较,并以随机方式选择五大莲池和五常

和强度表现为高度相关, R 为 0.862($p<0.01$),即频数高的年份,强度也高。

从极端降水事件频数和强度的年代际变化来看(表 3),水稻生长季中,极端降水事件频数呈波动变化,表现为低—高一低—高的振动态势,最低出现在 1971—1980 年,最高则出现在 2011—2016 年,而 1981—1990 年为次高期;强度也呈不稳定变化,2011—2016 年是极端降水强度最大时期,次之为 1981—1990、2001—2010 和 1971—1980 年则较低。

两个气象站点补充分析两者的关联性(表略)。本文判定极端降水事件与洪涝灾害是否存在关联性的原则为极端降水事件时间是否落入洪涝灾害事件记录

的起始与结束时间内。
如表 4 所示,佳木斯市辖区洪涝灾害记录中 1985 年 8 月 28 日的洪涝灾害事件结束时间不详

表 4 1984—2006 年安庆县和佳木斯市洪涝灾害事件与水稻生长季极端降水事件关联性分析
Table 4 Analysis of relevancy between flood disaster and extreme precipitation events during growing season of rice in Anqing and Jiamusi from 1984 to 2016

洪涝灾害					极端降水事件	
地点	开始时间	结束时间	累积降水量 /mm	单日最大降 水量/mm	时间	降水量 /mm
佳木斯 市辖区					1985 年 8 月 3 日	64.4
	1985 年 8 月 28 日		0.0	0.0		
	1987 年 8 月 6 日	1987 年 8 月 6 日	50.3	50.3	1987 年 8 月 6 日	50.3
					1987 年 8 月 30 日	46.5
	1988 年 8 月 21 日	1988 年 8 月 21 日	67.3	67.3	1988 年 8 月 21 日	67.3
					1989 年 7 月 19 日	46.6
	1990 年 8 月 23 日	1990 年 8 月 24 日	99.1	77.0	1990 年 8 月 23 日	77.0
	1991 年 7 月 7 日	1991 年 7 月 7 日	66.7	66.7	1991 年 7 月 7 日	66.7
	1991 年 7 月 29 日	1991 年 7 月 30 日	39.6	34.1		
	1992 年 6 月 7 日	1992 年 6 月 7 日	66.0	66.0	1992 年 6 月 7 日	66.0
	1994 年 8 月 16 日	1994 年 8 月 16 日	51.0	51.0	1994 年 8 月 16 日	51.0
	1995 年 7 月 13 日	1995 年 7 月 13 日	88.0	88.0	1995 年 7 月 13 日	88.0
	1996 年 7 月 29 日	1996 年 7 月 29 日	52.3	52.3	1996 年 7 月 29 日	52.3
	1998 年 6 月 8 日	1998 年 6 月 8 日	50.1	50.1	1998 年 6 月 8 日	50.1
	1998 年 7 月 1 日	1998 年 7 月 1 日	58.7	58.7	1998 年 7 月 1 日	58.7
	1998 年 7 月 7 日	1998 年 7 月 7 日	50.1	50.1	1998 年 7 月 7 日	50.1
					1998 年 7 月 8 日	49.5
	2000 年 9 月 1 日	2000 年 9 月 1 日	59.3	59.3	2000 年 9 月 1 日	59.3
	2003 年 8 月 22 日	2003 年 8 月 22 日	55.9	55.9	2003 年 8 月 22 日	55.9
					2003 年 9 月 5 日	49.2
庆安县	1984 年	1984 年			1984 年 8 月 13 日	69.9
	1985 年 8 月 12 日	1985 年 8 月 13 日	70.7	49.8	1985 年 8 月 13 日	49.8
					1985 年 8 月 15 日	72.0
	1986 年 7 月 27 日	1986 年 7 月 27 日	62.7	62.7	1986 年 7 月 27 日	62.7
					1988 年 7 月 1 日	53.3
					1988 年 7 月 19 日	65.2
	1990 年 7 月 9 日	1990 年 7 月 9 日	56.0	56.0	1990 年 7 月 9 日	56.0
					1990 年 7 月 31 日	48.3
	1991 年 7 月 23 日	1991 年 7 月 23 日	67.5	67.5	1991 年 7 月 23 日	67.5
	1992 年 7 月 25 日	1992 年 7 月 26 日	13.5	11.8		
	1992 年 8 月 29 日	1992 年 8 月 29 日	51.8	51.8	1992 年 8 月 29 日	51.8
	1994 年 6 月 8 日	1994 年 6 月 8 日	48.1	48.1	1994 年 6 月 8 日	48.1
					1994 年 9 月 19 日	60.2
					1995 年 7 月 12 日	66.6
	1996 年 7 月 29 日	1996 年 7 月 29 日	63.2	63.2	1996 年 7 月 29 日	63.2
					1997 年 7 月 24 日	65.9
					1997 年 8 月 1 日	54.0
	1998 年 7 月 8 日	1998 年 7 月 8 日	108.1	108.1	1998 年 7 月 8 日	108.1
	1999 年	1999 年				
	2000 年	2000 年			2000 年 8 月 10 日	97.7
	2003 年 7 月 12 日	2003 年 7 月 13 日	49.8	48.2	2003 年 7 月 13 日	48.2
					2003 年 8 月 21 日	51.0
	2003 年 8 月 24 日	2003 年 8 月 25 日	0.0	0.0		
					2005 年 7 月 29 日	83.8

实,参考气象观测站历史降水数据,发现1985年8月22—28日累积降水量为26.4 mm,单日最大降水量为17.9 mm,8月28日至9月3日累积降水量未超过10 mm,可以断定,该次洪涝灾害事件发生地的降水没有被气象观测站监测到。洪涝灾害记录中1991年7月29—30日,气象站监测的累积降水量为39.6 mm,单日最大降水量为34.1 mm,未超过极端降水事件阈值,但其余13条的洪涝灾害事件中的单日最大降水量均超过了极端降水事件阈值,被判定为极端降水事件。1988年7月7—8日,每一日的降水均超过了极端降水事件阈值,被判定为两次的极端降水事件,但因时间连续,可以被视为一次的洪涝灾害事件,因此洪涝灾害记录与极端降水事件匹配的数量应为13次,占总洪涝灾害事件数量的87%,占极端降水事件数量的76%,即佳木斯市辖区内洪涝灾害事件基本被极端降水事件捕捉到,且极端降水事件对洪涝灾害的指示性也较好。

庆安县洪涝灾害事件记录的完整性略差于前者,如1984、1999和2000年只有年代记录,均没有灾害发生的详实时间,但1984年8月13日和2000年8月10日因降水量超过极端降水事件阈值,均被判定为极端降水事件,但因洪涝灾害记录不详,不能做进一步的匹配度分析,也将影响极端降水事件对洪涝灾害事件的指示性结果,再者庆安县洪涝灾害记录中的1992年7月25—26日,气象站监测累积降水量为13.5 mm,且2003年8月24—25日,气象站监测雨量为0 mm,可以断定,两次洪涝灾害发生地的降水均没有被气象观测站监测到,但其余9条的洪涝灾害事件中的单日最大降水量均超过了极端降水事件阈值,被判定为极端降水事件。因此洪涝灾害事件与极端降水事件对应匹配数量为9次,占总洪涝灾害事件数量的64%。1985年8月13和15日降水量均超过了极端降水事件阈值,被判定为两次极端降水事件,但因时间靠近,且14日仍有少量降水,可视为一次洪涝事件,因此两者的匹配数量占极端降水事件数量的不足45%。与佳木斯辖区比较,极端降水事件对洪涝灾害事件的捕捉能力和指示性都较差。

为了合理评价极端降水事件与洪涝灾害事件的关联性问题,利用五大连池和五常地域对两者的关联性进行补充分析(表略),发现洪涝灾害事件与极端降水事件的匹配程度均不及佳木斯市辖区,如五大连池洪涝灾害事件被极端降水事件捕捉概率仅为

40%。经各地域面积比较,庆安地域比佳木斯辖区大6.5倍,五常地域比佳木斯辖区大8.7倍,而五大连池地域比佳木斯辖区大11.4倍,加之黑龙江省夏季降水特点多为局地阵性降水,因此3个代表站的气站站点雨量数据对于全区的指示性远不及佳木斯辖区,且各地对于洪涝灾害记录的掌握程度也不尽相同,或可解释其结果上的部分偏差。

在表4两地1984—2006年洪涝灾害记录中,7和8月是洪涝灾害的高发时段,其中松嫩平原的庆安7月下旬洪涝灾害频数最高;三江平原的佳木斯市7月上旬和8月下旬洪涝灾害频数较高,与2.5小节分析结论基本吻合。

3 结论与讨论

3.1 结论

黑龙江省极端降水阈值的高值区主要位于松嫩平原中南大部,与姜丽霞等(2015)研究结论基本一致;极端降水事件主要集中于水稻生长季的5—9月,极端降水事件频数总体呈经向分布特征,自东向西逐渐减少,且呈低海拔向高海拔逐渐增加的特征。虽西部极端降水事件的频数少于东部,但极端降水强度高值区位于松嫩平原局部,且大部分的水稻种植区生长季遭遇极端降水事件频数及强度总体呈增加趋势。在生殖生长的关键阶段,即7月6日至8月15日,共计41 d里发生了5—9月的半数以上的极端降水事件,是黑龙江省水稻暴雨洪灾的主要发生时段。

以松嫩平原为主的黑龙江省中西部地区,7、8、9月是极端降水事件频次较高时段,其中7月的下旬为高频时段,水稻易遭遇暴雨洪涝灾害。以三江平原为主的黑龙江省东部地区极端降水事件发生的高频时间段为5和9月,7月为中频时段;从代表站来看,黑龙江省大部分地区6月为极端降水事件发生的低频时间,是水稻生育阶段中遭遇极端降水事件最少的一段时期。纵观东部与西部,水稻生长季遭遇极端降水事件的频次前者偏多,尤其是水稻移栽后的初期阶段和乳熟成熟阶段,但极端降水强度上前者弱于后者,且46年中极端降水强度前者总体呈减弱趋势,后者呈增强趋势;处于同一地域的不同点间,在极端降水事件频次上存在明显差异,如北部地区水稻移栽后至成熟阶段及牡丹江南部的泡田整地

和移栽阶段,极端降水频次差异明显。

1971—2016年,以年代际比较黑龙江省水稻生长季极端降水事件频次和强度,发现近6年为极端降水事件频次最高,强度最大的一段时期,其中2012年为46年之首;1971—1980年为极端降水事件频次最少,强度也较小的一段时期,但2008年为46年之首。因水稻生长季极端降水事件频次和强度高度相关,因此一旦极端降水事件发生频次偏高,水稻遭遇洪涝的风险将进一步增强。

水稻生长季里极端降水事件对洪涝灾害事件有一定的指示作用,其指示性在4个代表点间差别较大,但类同于佳木斯辖区,有降水量观测的小范围区域里,洪涝灾害事件与极端降水事件关联性非常高,即洪涝灾害事件基本可以被极端降水事件捕捉到,极端降水事件对洪涝灾害的指示性也较高。经1984—2006年洪涝灾害资料分析,进一步印证了7和8月是洪涝灾害的高发时段的事实。

3.2 讨论

5月是水稻泡田整地和移栽的主要时期,极端降水事件频发不仅影响水稻移栽质量,同时也会影响水稻移栽进度。6月水稻正处于返青分蘖期,因此较低的极端降水频次对水稻顺利分蘖非常有利。7—8月是水稻拔节、孕穗、抽穗、灌浆、乳熟的重要阶段,遭遇极端降水事件将会给水稻造成一定损失,尤其是7月下旬,是水稻抽穗的关键时期,若遭遇极端降水事件,将会对水稻产量建成产生不利影响。9月是水稻乳熟、成熟的重要阶段,极端降水事件频发不仅造成水稻产量的损失,也将引起水稻籽粒品质的下降。

6—8月是黑龙江省降水最集中的时期,占全年降水量的60%以上。夏季受北方冷空气和南来暖湿空气的共同影响(房一禾等,2016),经常出现较大的降水,由于降水日多,且降水集中,强度大,往往容易发生洪涝等自然灾害。利用百分位的相对指数法,获得的黑龙江省水稻生长季极端降水事件可以一定程度上指示洪涝灾害,但该方法突出极端降水事件当日的降水,未考虑该日期前或后期的降水对洪涝灾害的累积作用。其洪涝灾害往往是短时间内较大雨量的累积造成的,可以是一日强降水或连续几日较大降水累积造成,即极端降水事件当日较强的降水是造成洪涝灾害的必要条件,但不是充分条件。在今后的研究中将参考极端降水事件前期或后

期降水,增大极端降水事件与洪涝灾害的关联性,提高极端降水事件对洪涝灾害的指示作用。

参考文献

- 段德寅,汪扩军,陆魁东,1999.近40年湖南洪涝灾害的演变趋势及其成因[J].气象,25(6):42-46. Duan D Y, Wang K J, Lu K D, 1999. Evolution trends of flood waterlogging damage and its contributing factors of Hunan Province in the last 40 years[J]. Meteor Mon, 25(6):42-46(in Chinese).
- 房一禾,龚志强,陈海山,2016.东北冷涡降水集中期的客观识别研究[J].气象,42(1):80-88. Fang Y H, Gong Z Q, Chen H S, 2016. Objective identification research on China northeast cold vortex precipitation period[J]. Meteor Mon, 42(1):80-88(in Chinese).
- 黄大鹏,郑伟,张人禾,等,2011.安徽淮河流域洪涝灾害防灾减灾能力评估[J].地理研究,30(3):523-530. Huang D P, Zheng W, Zhang R H, et al, 2011. Assessment of capacity of flood disaster prevention and reduction of Huaihe River Basin in Anhui Province[J]. Geogr Res, 30(3):523-530(in Chinese).
- 霍治国,范雨娟,杨建莹,等,2017.中国农业洪涝灾害研究进展[J].应用气象学报,28(6):641-653. Huo Z G, Fan Y X, Yang J Y, et al, 2017. Review on agricultural flood disaster in China[J]. Quar J Appl Meteor, 28(6):641-653(in Chinese).
- 姜丽霞,陈可心,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[J].气象,41(1):105-112. Jiang L X, Chen K X, Liu D, et al, 2015. Analyses of abnormal rainfall and its influence on crop production during main flood season of Heilongjiang Province in 2013[J]. Meteor Mon, 41(1):105-112(in Chinese).
- 李加林,曹罗丹,浦瑞良,2014.洪涝灾害遥感监测评估研究综述[J].水利学报,45(3):253-260. Li J L, Cao L D, Pu R L, 2014. Progresses on monitoring and assessment of flood disaster in remote sensing[J]. J Hydraulic Engineering, 45(3):253-260(in Chinese).
- 李军玲,刘忠阳,邹春辉,2010.基于GIS的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J].气象,36(2):87-92. Li J L, Liu Z Y, Zou C H, 2010. Assessment and zonation of flood disaster risk in Henan Province based on GIS[J]. Meteor Mon, 36(2):87-92(in Chinese).
- 李兰,周月华,叶丽梅,等,2013.基于GIS淹没模型的流域暴雨洪涝风险区划方法[J].气象,39(1):112-117. Li L, Zhou Y H, Ye L M, et al, 2013. Basin rainstorm flood risk regionalization method based on GIS rainstorm flood inundation model[J]. Meteor Mon, 39(1):112-117(in Chinese).
- 李维京,左金清,宋艳玲,等,2015.气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化[J].气象,41(3):261-271. Li W J, Zuo J Q, Song Y L, et al 2015. Changes in spatio-temporal distribution of drought/flood disaster in southern China under global climate warming[J]. Meteor Mon, 41(3):261-271(in Chinese).
- 刘会玉,林振山,张明阳,2005.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,25(1):43-48. Liu H Y, Lin Z S,

- Zhang M Y, 2005. Wavelet analysis of area affected by flood disaster in China after 1949[J]. *Sci Geogr Sin*, 25(1): 43-48 (in Chinese).
- 邱海军, 曹明明, 胡胜, 等, 2014. 近 60 a 来中国洪涝灾情变化趋势持续性和周期性研究[J]. *地球与环境*, 42(1): 17-24. Qiu H J, Cao M M, Hu S, et al, 2014. Susceptibility and periodicity of flood disasters since the 1950 s in China[J]. *Earth Environ*, 42(1): 17-24 (in Chinese).
- 魏风英, 2007. 现代气候统计诊断与预测技术: 第 2 版[M]. 北京: 气象出版社: 38, 58-60. Wei F Y, 2007. Statistical Diagnosis of Modern Climate and Predicting Techniques[M]. Beijing: China Meteorological Press: 38, 58-60 (in Chinese).
- 谢五三, 吴蓉, 田红, 等, 2017. 东津河流域暴雨洪涝灾害风险区划[J]. *气象*, 43(3): 341-347. Xie W S, Wu R, Tian H, et al, 2017. Rainstorm flood risk regionalization of the Dongjin River Basin[J]. *Meteor Mon*, 43(3): 341-347 (in Chinese).
- 徐宗学, 程磊, 2010. 分布式水文模型研究与应用进展[J]. *水利学报*, 41(9): 1009-1017. Xu Z X, Cheng L, 2010. Progress on studies and applications of the Distributed Hydrological Models[J]. *J Hydraulic Eng*, 41(9): 1009-1017 (in Chinese).
- 杨若子, 周广胜, 2015. 东北三省玉米主要农业气象灾害综合危险性评估[J]. *气象学报*, 73(6): 1141-1153. Yang R Z, Zhou G S, 2015. A comprehensive risk assessment of the main maize agrometeorological disasters in the three provinces of Northeast China[J]. *Acta Meteor Sin*, 73(6): 1141-1153 (in Chinese).
- 杨志刚, 建军, 洪建昌, 2014. 1961—2010 年西藏极端降水事件时空分布特征[J]. *高原气象*, 33(1): 37-42. Yang Z G, Jian J, Hong J C, 2014. Temporal and spatial distribution of extreme precipitation events in Tibet during 1961—2010[J]. *Plateau Meteor*, 33(1): 37-42 (in Chinese).
- 俞布, 缪启龙, 潘文卓, 等, 2011. 杭州市台风暴雨洪涝灾害风险区划与评价[J]. *气象*, 37(11): 1415-1422. Yu B, Miao Q L, Pan W Z, et al, 2011. Risk division and assessment of typhoon rainstorm flooding disasters in Hangzhou City[J]. *Meteor Mon*, 37(11): 1415-1422 (in Chinese).
- 袁美英, 李泽椿, 张小玲, 2010. 东北地区一次短时大暴雨 β 中尺度对流系统分析[J]. *气象学报*, 68(1): 125-136. Yuan M Y, Li Z C, Zhang X L, 2010. Analysis of a meso- β scale convective system during a brief torrential rain event in Northeast Chin[J]. *Acta Meteor Sin*, 68(1): 125-136 (in Chinese).
- 张英红, 2000. 我国洪涝灾害初步研究[J]. *高等函授学报(自然科学版)*, 13(3): 44-46. Zhang Y H, 2000. Preliminary studies on flood disaster of China[J]. *J Higher Correspondence Edu(Natural Sci)*, 13(3): 44-46 (in Chinese).
- 张宇彤, 矫梅燕, 陈静, 等, 2016. 基于贝叶斯方法的极端降水概率预报试验[J]. *气象*, 42(7): 799-808. Zhang Y T, Jiao M Y, Chen J, et al, 2016. Probabilistic forecasting of extreme precipitation experiment based on Bayesian Theory[J]. *Meteor Mon*, 42(7): 799-808 (in Chinese).
- 周悦, 周月华, 叶丽梅, 等, 2016. 湖北省旱涝灾害致灾规律的初步研究[J]. *气象*, 42(2): 221-229. Zhou Y, Zhou Y H, Ye L M, et al, 2016. Preliminary study on disastrous law of drought and flood in Hubei Province[J]. *Meteor Mon*, 42(2): 221-229 (in Chinese).
- Brody S, Blessing R, Sebastian A, et al, 2014. Examining the impact of land use/land cover characteristics on flood losses[J]. *J Environ Plann Manage*, 57(8): 1252-1265.
- Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, et al, 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts [J]. *Science*, 289(5487): 2068-2074.
- Felipe-Omar T-S, Slibylle I, Saskia F, et al, 2011. Estimation of flood losses to agricultural crops using remote sensing [J]. *Phys Chem Earth*, 36(7/8): 253-265.
- Ishikawa H, Oku Y, Kim S, et al, 2013. Estimation of a possible maximum flood event in the Tone River Basin, Japan caused by a tropical cyclone[J]. *Hydrol Process*, 27(23): 3292-3300.
- Mustafi B A A, Azad M A S, 2003. The 1998 flood: losses and damages of agricultural production in Bangladesh [J]. *J Biol Sci*, 3(2): 147-156.