

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.08.002

四川省单季稻高低温致灾因子危险性分析^①

庞艳梅¹, 刘佳², 陈超^{2,3}

1. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 610072;
2. 四川省气候中心, 成都 610072; 3. 南方丘区节水农业研究四川省重点实验室, 成都 610066

摘要: 开展单季稻高低温致灾因子危险性分析, 可为四川省单季稻生产防灾减灾提供理论支持. 基于 1981 年—2012 年四川省 26 个气象台站单季稻观测资料和逐日气象资料, 利用水稻高、低温灾害指标, 从灾害发生频率、次数和强度等方面定量分析了四川省单季稻生育期内高温和低温致灾因子的危险性. 结果表明: 1981 年—2012 年四川省单季稻秧田期低温和灌浆结实期高温的发生频率较高, 大部地区超过 60%; 秧田期低温和灌浆结实期高温的发生次数较多, 大部地区在 26~50 次; 秧田期低温和灌浆结实期高温的发生强度较高, 大部地区分别为 4~12 天/次和 6~9 天/次. 近 30 年来, 四川省单季稻秧田期的低温发生次数和强度呈减少趋势; 开花期高温发生次数基本不变, 发生强度呈现降低趋势; 灌浆结实期高温发生次数和强度呈增加趋势. 四川省不同区域和不同生育阶段单季稻高温和低温致灾因子的危险性存在差异, 需要因地制宜地应对气象灾害带来的不利影响, 保障单季稻的安全生产.

关键词: 单季稻; 高温和低温; 致灾因子危险性; 四川省

中图分类号: S162.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)08-0009-08

水稻是中国三大粮食作物之一, 1949 年至 2009 年间, 我国水稻的平均播种面积占粮食作物总播种面积的 27%, 总产量占粮食总产量的 42%, 单位面积产量为粮食作物平均单产的 1.52 倍^[1]. 四川省是中国 13 个粮食主产区之一, 水稻是四川省最主要的粮食作物, 其产量占粮食总产的 42.6%. 在全球气候变暖背景下, 四川省的气候资源和农业气候资源也发生了相应变化^[2-4], 热量条件改善固然有利于作物生物量的积累, 但与气候变暖相伴发生的气候变率的增大则明显增加了干旱、高温、低温和洪涝等农业气象灾害的发生频率. 部分年份发生的持续低温、高温灾害造成该区域水稻出现烂秧或者秧苗质量降低、花而不实或者结实不良的现象, 严重影响了该地区和中国粮食的安全生产^[5].

有研究指出^[6-7], 水稻生长季内发生的农业气象灾害, 如干旱、高温热害、低温冷害、连阴雨等会对水稻造成严重影响, 不同地区、不同时段发生的高温 and 低温灾害对水稻生长的影响不同^[8-10]. 气候变化背景下高温、低温灾害对水稻产量形成的影响已引起国内外学者的广泛关注^[11-14], 然而, 针对四川省单季稻高温、低温致灾因子危险性分析的研究较少. 本文基于四川省地面气象观测数据和农业气象观测站的单季稻生产数据, 利用数理统计方法, 从灾害发生次数、频率和强度 3 个方面评估四川省单季稻生育期内高温和低温致灾因子的危险性, 拟为四川省水稻的防灾、减灾和稻作制度的调整提供科学依据, 为保障国家粮食

① 收稿日期: 2016-08-17

基金项目: 中国气象局西南区域重大科研业务项目(2014-08); 四川省气象局科学技术研究开发课题(2015-开发-16); 中国气象局成都高原气象研究所基本科研业务项目(BROP201513); 国家重点基础研究计划(973 计划)(2013CB430205).

作者简介: 庞艳梅(1983-), 女, 北京人, 博士, 工程师, 主要从事气候变化对农业的影响评价研究工作.

通信作者: 陈超, 博士, 高级工程师.

安全及推动农业经济的可持续发展提供参考.

1 资料与方法

1.1 研究区域概况

四川省单季稻主要分布于四川盆地、盆周边山区和川西南山地区,按照地理、地貌类型和种植区的形成现状,主要以单季稻种植为主. 本文选取单季稻种植区 26 个气象台站(图 1)1981 年—2012 年的逐日平均气温、最低气温和最高气温资料,统计分析 1981 年—2012 年农业气象观测站的观测数据,并结合大田生产调查资料,获得了各种植区域单季稻播种至成熟期的时间(表 1).

1.2 研究方法

1.2.1 水稻生育期内高低温灾害指标

将日最高(最低)气温连续 3 天大于(小于)3 基点温度的上限(下限)温度定义为水稻高温热害(低温冷害)的指标^[15-18]. 参照文献的研究结果^[15, 19-21],结合四川省水稻的实际生长情况,确定四川省水稻在各生育期的 3 基点温度(表 2).

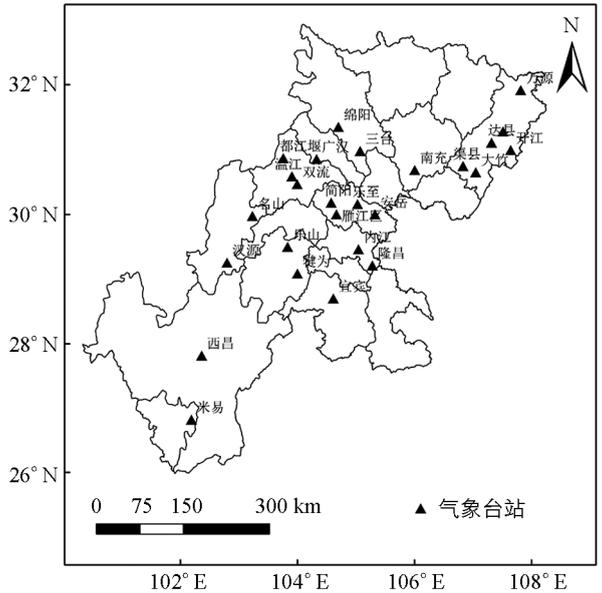


图 1 研究区域范围和站点分布

表 1 四川省单季稻各生育期的起止日期

站 点	播种	移栽	孕穗	抽穗	成熟
乐山、犍为、宜宾、隆昌、南充	3 月 11 日	4 月 11 日	6 月 30 日	7 月 11 日	8 月 11 日
温江、都江堰、绵阳、名山、双流、广汉	3 月 31 日	5 月 11 日	7 月 21 日	8 月 11 日	9 月 10 日
内江、雁江区、简阳、安岳、乐至、三台	3 月 31 日	5 月 11 日	7 月 21 日	7 月 31 日	9 月 10 日
大竹、宣汉、达州、开江、渠县	3 月 31 日	5 月 11 日	7 月 21 日	8 月 11 日	8 月 31 日
汉源、万源	3 月 31 日	6 月 1 日	7 月 21 日	8 月 20 日	8 月 31 日
西昌、米易	3 月 31 日	5 月 11 日	7 月 21 日	8 月 5 日	9 月 20 日

注:表中资料来源于四川省气象信息中心.

表 2 水稻不同生育期的 3 基点温度指标

生育阶段	3 基点温度/℃			生育阶段	3 基点温度/℃		
	最高温度	最低温度	适宜温度		最高温度	最低温度	适宜温度
秧田期	35	12	25~30	孕穗—抽穗期	35	20	30~33
营养生长期	35	12	25~30	灌浆—成熟期	33	17	20~29

本文以灾害的持续时间来表示高温和低温的灾害强度,将持续 3 天以上的高温或低温作为一次灾害过程,以高温、低温过程的平均持续天数作为灾害强度指标. 由于四川省单季稻高温、低温灾害主要表现为秧田期的低温冷害以及花期、灌浆结实期的高温热害,因此本文基于水稻不同生育期的 3 基点温度指标,统计分析四川省单季稻秧田期的低温(STN)、开花期的高温(BFX)、灌浆结实期高温(RTX)的发生次数、发生频率及强度.

1.2.2 水稻高温、低温致灾因子的危险性分析方法

将水稻某生育期内日最高气温或者最低气温达到其生育期对应的高温、低温标准且持续 3 天及以上作为一次高温或者低温过程,即 1 次灾害;灾害发生次数定义为水稻生育期内出现灾害过程的总次数.

灾害发生频率的公式为:

$$f = n/N \times 100\% \quad (1)$$

式中: f 是发生频率(%); n 是统计时段内作物生育期发生某种灾害的总年数; N 是统计时段的总年数.

灾害强度的公式为:

$$D = d_{num}/c_{num} \times 100\% \quad (2)$$

式中: D 是灾害强度(天/次); d_{num} 是作物某生育期内发生高温或者低温灾害的总天数; c_{num} 是作物某生育期内发生高温或者低温灾害的总次数.

1.2.3 倾向率

利用倾向率^[22]来表示变量的趋势变化, 建立 X_i 和 t_i 间的一元线性回归方程:

$$X_i = a + bt_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中: X_i 是变量, t_i 是 X_i 对应的时间变化, n 是样本量, a 与 b 是回归系数. 以 b 的 10 倍表示变量的倾向率.

1.2.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件对数据进行处理和绘图, 采用 Surfer11 软件对结果进行空间表达.

2 结果与分析

2.1 单季稻高温和低温灾害发生频率比较

研究发现, 1981 年—2012 年研究区域各站点单季稻秧田期低温(STN)的平均发生频率为 68.8%, 开花期高温(BFX)和灌浆结实期高温(RTX)的平均发生频率分别为 15.8%和 67.1%(图 2).

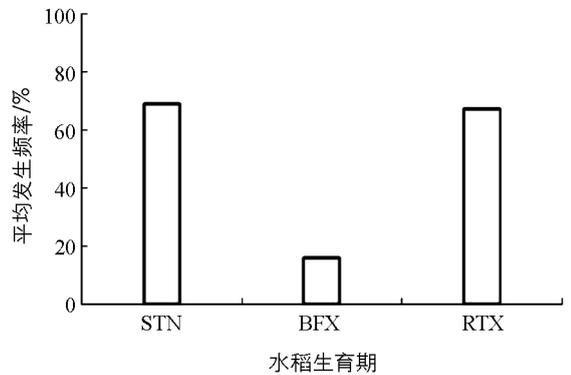


图 2 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期内
高低温灾害的发生频率

进一步分析 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期高温、低温灾害发生频率的空间分布发现: 秧田期低温发生频率除盆地中部较低外, 其余大部区域较高, 均超过 60%(图 3-a); 开花期高温发生频率的空间分布呈由西南向东北增加的趋势, 盆地东北部的发生率 40%~59%(图 3-b); 灌浆结实期高温发生频率呈由西向东增加的趋势, 高发区集中在盆地中、南部和东北部(发生频率 > 60%)(图 3-c).

2.2 单季稻高温和低温灾害发生次数比较

1981 年—2012 年, 研究区各站点单季稻秧田期低温的平均年灾害发生次数为 1.10 次, 年极端灾害发生次数为 1.73 次; 各站点开花期和灌浆结实期高温的平均年灾害发生次数分别为 0.20 次和 1.10 次, 年极端灾害发生次数分别为 1.00 次和 2.31 次(图 4).

进一步分析 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期高温、低温灾害发生次数的空间分布发现: 近 30 年来, 大部份地区秧田期的低温发生次数在 50 次以下, 仅盆地东北部的部分地区发生次数在 50 次以上(图 5-a); 开花期高温发生次数总体偏少, 仅在盆地东北部达到 13~17 次(图 5-b); 大部份地区灌浆结实期的高温发生次数为 26~65 次(图 5-c).

2.3 单季稻高温和低温灾害发生强度比较

1981 年—2012 年, 研究区域各个站点单季稻秧田期低温平均灾害强度为 5.83 天/次, 极值为 9.93 天/次; 开花期的高温平均灾害强度为 2.99 天/次, 极值为 7.94 天/次; 灌浆结实期的高温平均灾害强度为 6.52 天/次, 极值为 14.03 天/次(图 6).

进一步分析 1981 年—2012 年四川省单季稻各生育阶段高温、低温灾害发生强度的空间分布发现: 大部份地区秧田期的低温强度为 4~12 天/次, 仅川东北个别地区的低温强度 17~26 天/次(图 7-a); 开花期高温发生强度普遍较低, 仅在盆地中、南部和川东北部分地区达 6~7 天/次(图 7-b); 灌浆结实期高

温发生强度也呈现西低东高的分布特征, 高值区集中在盆地中、南部和东北部, 强度为 8~9 天/次 (图 7-c).

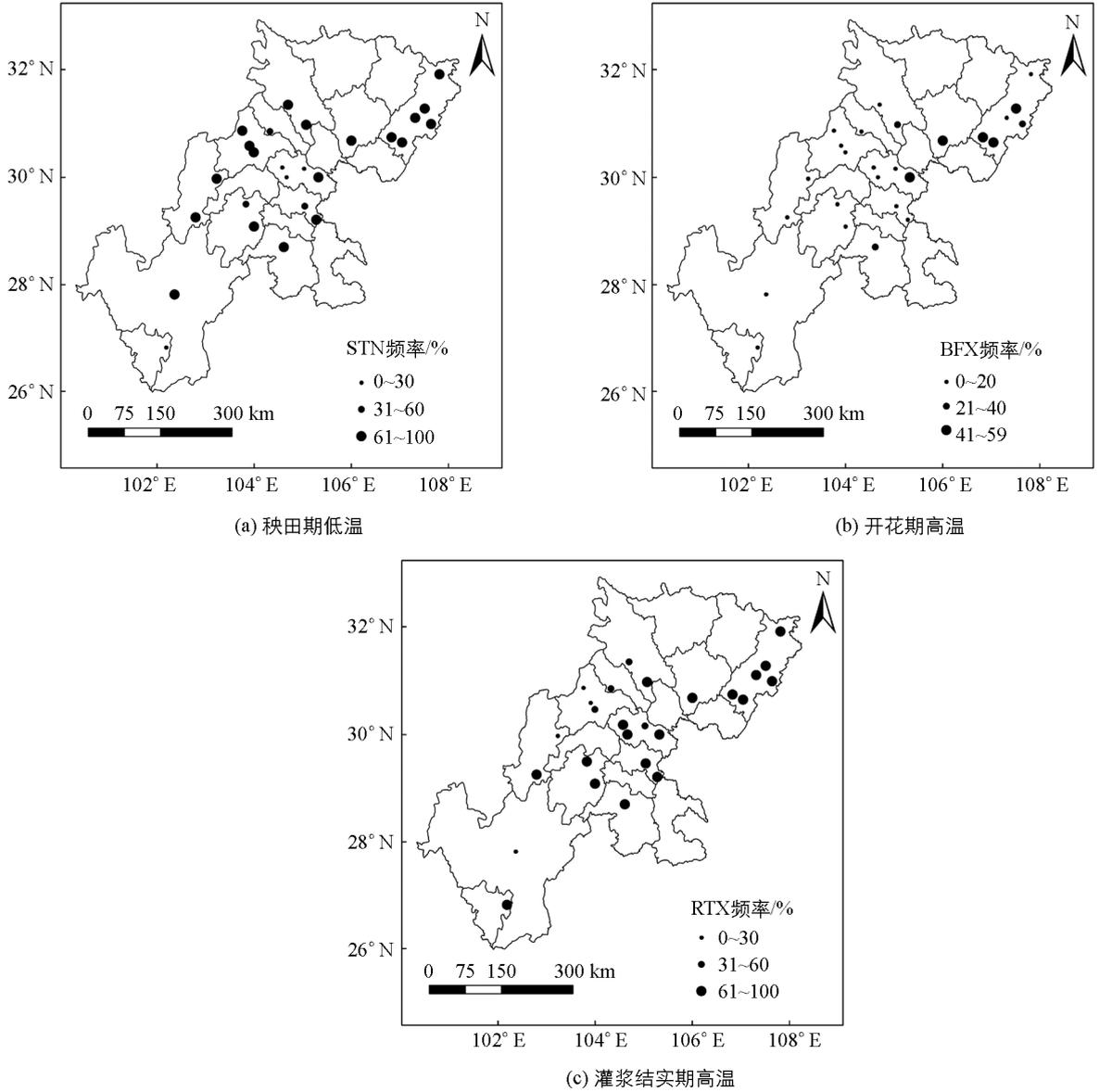


图 3 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期内高低温灾害发生频率的空间分布

2.4 单季稻高温和低温灾害变化特征比较

表 3 是 1981 年—2012 年四川省单季稻灾害发生次数和强度的变化趋势. 由表可知, 1981 年—2012 年, 四川省单季稻秧田期低温发生次数呈显著减少趋势, 变幅为每 10 年-0.21 次; 低温发生强度呈不显著的降低趋势, 变幅为每 10 年-0.15 天/次. 开花期高温发生次数呈不显著的增加趋势, 变幅为每 10 年 0.03 次; 而高温发生强度呈不显著的降低趋势, 变幅为每 10 年-0.59 天/次. 灌浆结实期高温发生次数和强度呈不显著的增加趋势, 变幅分别为每 10 年 0.10 次和 0.40 天/次.

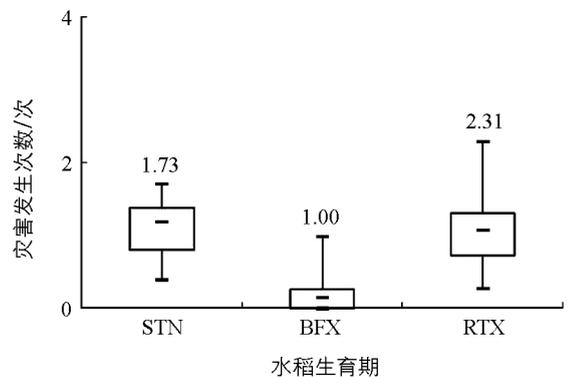


图 4 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期内高低温灾害的平均年发生次数

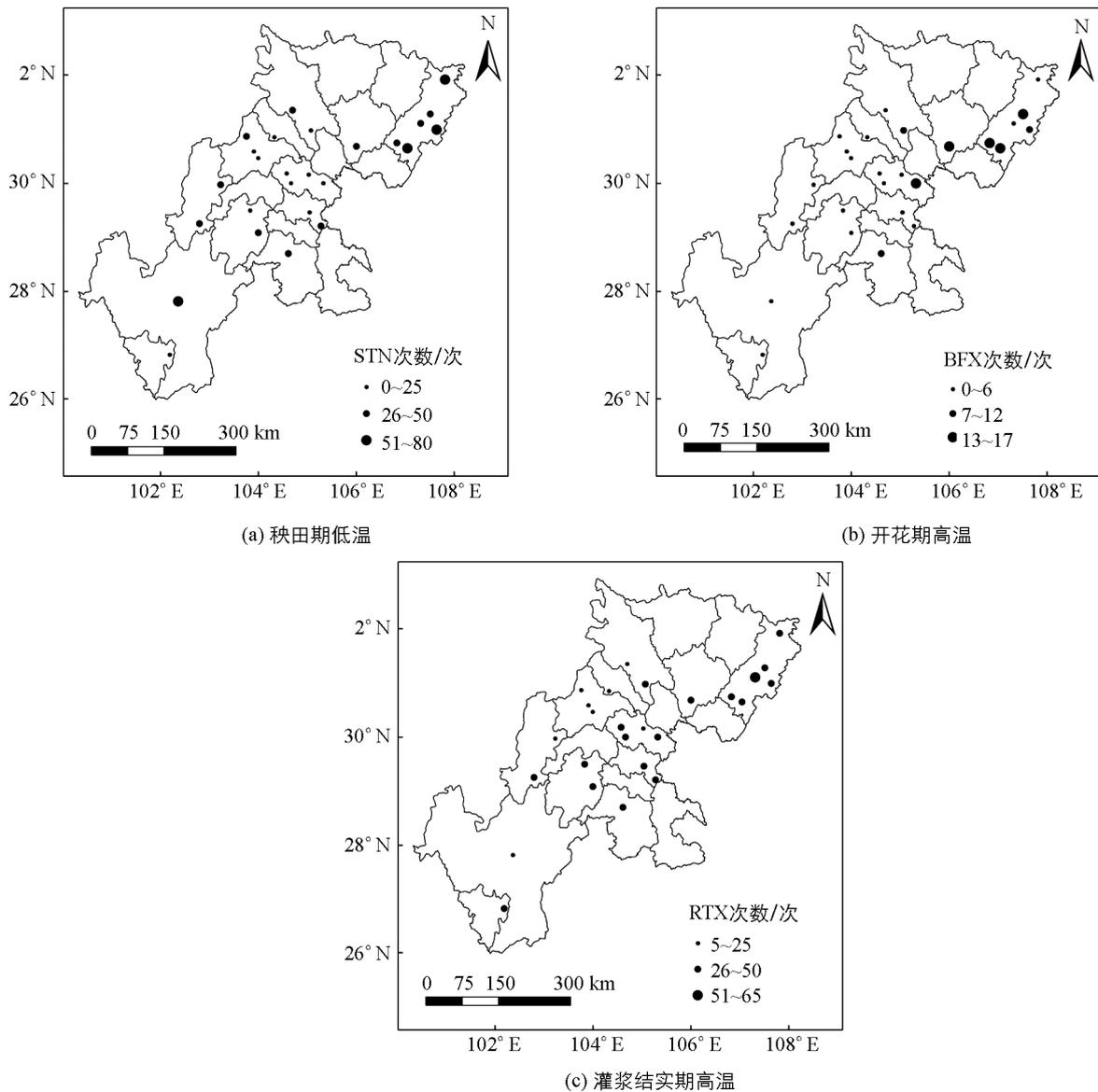


图 5 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期内高低温灾害发生次数的空间分布

表 3 1981 年—2012 年四川省单季稻高低温灾害次数和强度变化趋势

生育阶段	STN	BFX	RTX
灾害次数/次	-0.21 *	0.03	0.10
灾害强度/(天·次 ⁻¹)	-0.15	-0.59	0.40

注: * 表示在 $p < 0.05$ 水平有显著性关系。

3 结论与讨论

1981 年—2012 年, 四川省各个站点单季稻秧田期低温、开花期高温和灌浆结实期高温的平均发生频率分别为 68.8%、15.8% 和 67.1%。近 30 年来, 秧田期低温发生频率除盆地中部较低外, 其余大部均超过 60%; 开花期和灌浆结实期高温发生频率的空间分布总体呈西低东高的趋势。

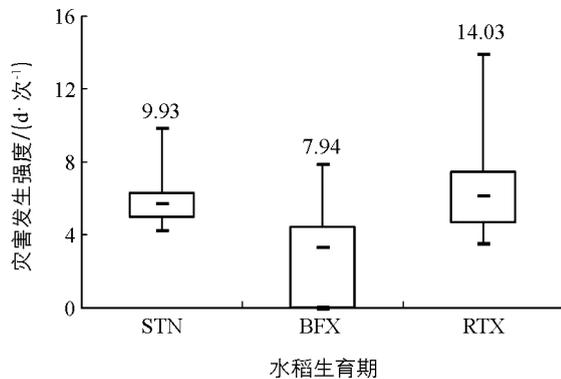


图 6 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期内高低温灾害的发生强度

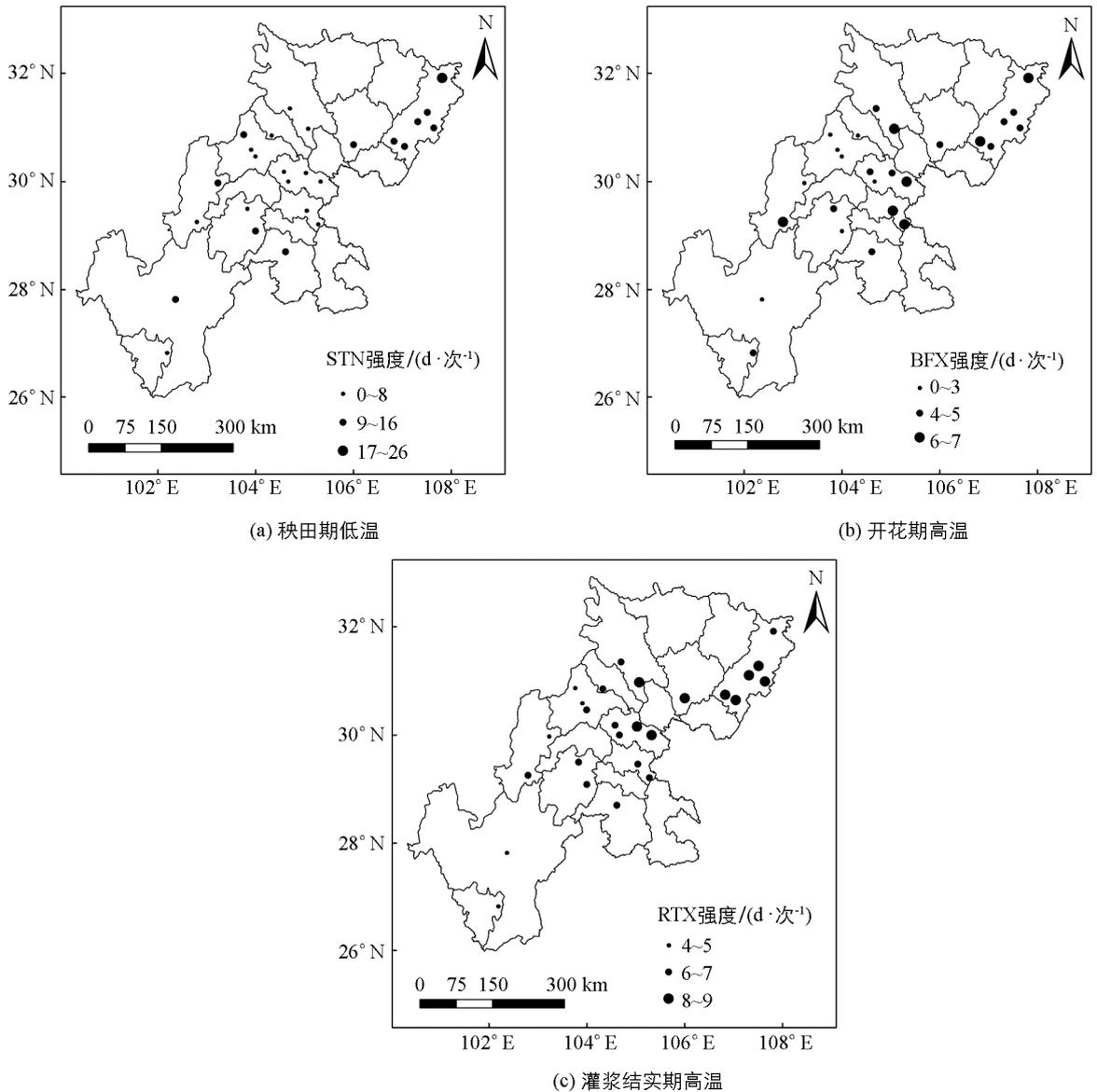


图 7 1981 年—2012 年四川省单季稻生育期内高低温灾害发生强度的空间分布特征

1981 年—2012 年, 各个站点单季稻秧田期低温的平均年发生次数为 1.10 次, 年极端发生次数为 1.73 次; 各个站点开花期和灌浆结实期高温的平均年发生次数分别为 0.20 次和 1.10 次, 年极端发生次数分别为 1.00 次和 2.31 次. 近 30 年来, 大部份地区秧田期的低温发生次数在 50 次以下; 开花期高温发生次数总体偏少, 仅在盆地东北部达到 13~17 次; 大部份地区灌浆结实期的高温发生次数为 26~65 次.

1981 年—2012 年, 各个站点单季稻秧田期低温平均灾害强度为 5.83 天/次, 极值为 9.93 天/次; 开花期和灌浆结实期的高温平均灾害强度分别为 2.99 天/次和 6.52 天/次, 极值分别为 7.94 天/次和 14.03 天/次. 近 30 年来, 大部地份区秧田期的低温强度为 4~12 天/次; 开花期高温发生强度普遍较低; 灌浆结实期高温发生强度也呈东高西低的分布特征, 高值区集中在盆地中、东部, 强度为 8~9 天/次.

1981 年—2012 年, 单季稻秧田期低温发生次数呈显著减少趋势, 而发生强度呈不显著的降低趋势; 开花期高温发生次数呈不显著的增加趋势, 而发生强度呈不显著的降低趋势; 灌浆结实期高温发生次数和强度均呈不显著的增加趋势.

在全球气候变化背景下, 四川省单季稻秧田期低温致灾因子危险性风险降低, 但仍要关注该阶段水分不足对水稻出苗的影响. 同时, 四川省单季稻生育后期高温灾害发生次数的增加将不利于单季稻的正常灌

浆,甚至导致严重减产,未来可以选择中、晚熟品种以规避高温热害的危害;其次,培育和采用抗热的水稻品种也是应对热害变化的重要措施之一。另外,虽然四川省稻区现有不少水利工程,但标准低、病害多、老化严重,渠系配套差且破坏严重,灾害之年难以满足需水要求,应加快大中型水利工程修建的步伐,尽可能多地蓄积降水,增加水稻的保灌面积,同时发展节水灌溉,以应对后期灾害的影响。

水稻高温和低温灾害的发生是一个复杂的过程,它和地形条件、天气气候背景、种植制度以及品种等诸多因素相关,本文仅利用温度指标和生育期数据评估气候变化背景下四川省单季稻高低温致灾因子的危险性风险,未来还需要结合孕灾环境敏感性、承灾体脆弱性和防灾减灾能力等进行四川省单季稻高低温灾害的风险评估,为水稻的实际生产服务。

参考文献:

- [1] 程勇翔,王秀珍,郭建平,等.中国水稻生产的时空动态分析[J].中国农业科学,2012,45(17):3473-3485.
- [2] 陈超,庞艳梅,张玉芳.近50年来四川盆地气候变化特征研究[J].西南大学学报(自然科学版),2010,32(9):115-120.
- [3] 代姝玮,杨晓光,赵孟,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化Ⅱ.西南地区农业气候资源时空变化特征[J].应用生态学报,2011,22(2):442-452.
- [4] 陈超,庞艳梅,潘学标,等.气候变化背景下四川省气候资源变化趋势分析[J].资源科学,2011,33(7):1310-1316.
- [5] 田小海,罗海伟,周恒多,等.中国水稻热害研究历史、进展与展望[J].中国农学通报,2009,25(22):166-168.
- [6] 高素华,王培娟,万素琴.长江中下游高温热害及对水稻的影响[M].北京:气象出版社,2009.
- [7] 刘玲,沙奕卓,白月明.中国主要农业气象灾害区域分布与减灾对策[J].自然灾害学报,2003,12(2):92-97.
- [8] 冯明,陈正洪,刘可群,等.湖北省主要农业气象灾害变化分析[J].中国农业气象,2006,27(4):343-348.
- [9] 帅细强,王石立,马玉平,等.基于ORYZA2000模型的湘赣双季稻气候生产潜力[J].中国农业气象,2009,30(4):575-581.
- [10] 葛道阔,金之庆,石春林,等.气候变化对中国南方水稻生产的阶段性影响及适应性对策[J].江苏农业学报,2002,18(1):1-8.
- [11] PENG S, HUANG J, SHEEHY J E. Rice Yields Decline with Higher Night Temperature from Global Warming [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(27): 9971.
- [12] YAO F M, XU Y L, LIN E D, et al. Assessing the Impacts of Climate Change on Rice Yields in the Main Rice Areas of China [J]. Climate Change, 2007, 80(3-4): 395-409.
- [13] PIAO S, CIAIS P, HUANG Y, et al. The Impacts of Climate Change on Water Resources and Agriculture in China [J]. Nature, 2010, 467(7311): 43-51.
- [14] LOBELL D B, SCHLENKER W, COSTA-ROBERTS J. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980 [J]. Science, 1980, 333(6042): 616-620.
- [15] 高亮之.水稻气象生态[M].北京:中国农业出版社,1992.
- [16] 李林,沙国栋,陆景淮.水稻灌浆期温光因子对稻米品质的影响[J].中国农业气象,1989,10(3):33-38.
- [17] 李守华,田小海,黄永平,等.江汉平原近50年中稻花期危害高温发生的初步分析[J].中国农业气象,2007,28(1):5-8.
- [18] 万素琴,陈晨,刘志雄,等.气候变化背景下湖北省水稻高温热害时空分布[J].中国农业气象,2009,30(S2):316-319.
- [19] DE DATTA S K. Principles and Practices of Rice Production [M]. Philippines: International Rice Research Institute, 1981.
- [20] YOSHIDA S. Tropical Climate and Its Influence on Rice//Periodicity, Productivity and Stability [M]. Philippines: Inter-

national Rice Research Institute, 1978.

[21] YOSHIDA S. Fundamentals of Rice Crop Science [M]. Philippines: International Rice Research Institute, 1981.

[22] 魏凤英. 现代气候统计与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 37—38.

Analysis of High and Low Temperature Hazard Risks for Single Cropping Rice in Sichuan

PANG Yan-mei¹, LIU Jia², CHEN Chao^{2,3}

1. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu/Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu, 610072, China;

2. Sichuan Provincial Climate Centre, Chengdu 610072, China;

3. Provincial Key Laboratory of Water-Saving Agriculture in Hill Areas of Southern China, Chengdu 610066, China

Abstract: Analysis of high and low temperature hazard risks for single cropping rice can produce important theoretical support for regional disaster prevention and mitigation. Based on the rice observation data and meteorological data during 1981—2012 collected from 26 meteorological stations in Sichuan, the high and low temperature hazard risks for single cropping rice were quantitatively analyzed according to disaster frequency, disaster time and disaster intensity. The result showed that frequency of low temperature during the nursery period and high temperature during the seed-filling and ripening period were more than 60% in most of the study regions for single cropping rice in Sichuan. The times of low temperature disaster during the nursery period and high temperature disaster during the seed-filling and ripening period in most regions were 26—50 times. The intensity of low temperature disaster during the nursery period and high temperature disaster during the seed-filling and ripening period in most regions were 4—12 and 6—9 days/time, respectively. In the 30 years (1981—2012), the time and frequency of low temperature disaster during the nursery period for single cropping rice decreased, the time of high temperature disaster during the flowering period did not change significantly, and the intensity was decreasing, and the time and frequency of high temperature disaster during the seed-filling and ripening period increased. Large differences existed in high and low temperature hazard risks in different regions and different rice growth stages in Sichuan. Therefore, we need to address the negative impacts of meteorological disasters according to the local conditions so as to ensure rice production safety.

Key words: single cropping rice; high temperature and low temperature; hazard risk; Sichuan

责任编辑 胡 杨

