

文章编号: 2096-1618(2022)02-0194-08

四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨时空特征

姜楠¹, 袁淑杰¹, 刘芷含¹, 阮迪陈¹, 彭映杰², 王劲松³

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 成都信息工程大学通信工程学院, 四川 成都 610225; 3. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省(中国气象局)干旱气候变化与减灾重点(开放)实验室, 甘肃兰州 730020)

摘要:利用四川省水稻种植区 21 个农业气象观测站 1961–2020 年逐日平均气温、日照时数和日降水量等气象资料,按照水稻低温、连阴雨和低温连阴雨标准,使用统计方法分析水稻分蘖-拔节期低温、连阴雨和低温连阴雨的时空分布特征。结果表明:(1)轻度和中度低温灾害发生最多的年份分别为 1985 年、1983 年,发生最少的年份分别为 2015 年、2017 年,20 世纪 80 年代以来不同等级低温灾害发生站数的年际均值均呈显著减少趋势。在空间分布上,轻度、中度和重度低温灾害发生频率范围分别为 23.3%~100.0%、1.7%~100.0% 和 0%~96.0%,高值区分布在川西南山地的雷波、越西、木里、盐源和昭觉,低值区分布在盆周边缘山区和盆中浅丘区的广元和资阳,呈现“山区多,盆地少”的空间分布特征。(2)连阴雨灾害发生最多的年份为 1973 年,最少的年份为 2020 年。在空间分布上,轻度、中度和重度连阴雨灾害发生频率范围分别为 8.3%~48.3%、1.7%~25.0% 和 0%~11.7%,高值区分布在盆南丘陵区和川西南山地的宜宾、昭觉和越西,发生频率由高值区向南北方向递减。(3)低温连阴雨灾害发生最多的年份为 2004 年,21 世纪 00 年代中期以来,低温连阴雨发生站数的年际均值逐渐减小,近 10 a 平均发生站数为 3.9。在空间分布上,低温连阴雨灾害发生频率高值区分布在川西南山地北部的雷波、越西和昭觉,发生频率范围为 50.0%~65.0%,向南北方向递减。(4)除重度连阴雨灾害外,1991 年以后各等级低温、连阴雨和低温连阴雨灾害发生频率均略低于 1990 年以前;相较于低温灾害,连阴雨和低温连阴雨灾害发生站数少,灾害范围小。

关键词:四川;水稻;分蘖-拔节期;低温;连阴雨

中图分类号:P49

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.02.013

0 引言

水稻是四川省最主要的粮食作物,常年种植面积约 3000 万亩,占粮食总面积的 30% 左右,产量占粮食总产的 40% 以上。由于水稻是喜温作物,相对于玉米、大豆等其他作物,其对温度有较高的敏感性,因此低温对水稻的生长发育有明显的影响。低温常伴的连阴雨、寡照、干旱等不利气象条件则加重了其影响程度。低温阴雨是西南地区主要气象灾害之一,在四川盆地、川西南山地和贵州的西部、北部最为常见^[1]。

四川水稻种植区气候垂直变化大,不同区域水稻生育期明显不同。四川水稻生育期灾害相关研究中,刘佳等^[2]利用逐日平均气温、最高气温和日平均相对湿度等气象资料,揭示了四川单季稻抽穗扬花期和灌浆结实期高温热害的时空变化规律。刘琰琰等^[3]将四川盆地划分为 5 个区域,基于逐日气象资料及水稻生育期资料,利用干旱评估指标分析四川盆地 1980–2014 年水稻各生育期干旱发生频率的空间分布特征。许多学者对发

生在春季和秋季的低温阴雨进行了研究,王继志等^[4]统计分析了中国南方 1960–1980 年 113 次低温连阴雨过程及天气气候特点。曹磊等^[5]基于气温日值数据和日降水量资料,分析了 1961–2018 年中国南方地区冬春季低温连阴雨过程的时空分布及变化特征。周边省份如广东和海南等也针对各省的低温连阴雨情况进行了分析研究^[6–8]。对于水稻低温连阴雨灾害的研究也逐渐增多,许孟会等^[9]利用春季低温、连阴雨发生时间和频率对信阳市水稻、小麦等主要农作物进行统计分析。李雪^[10]分析了春季连续低温及阴雨气象对小麦、水稻产量降低的影响机理。朱萌等^[11]利用相关气象资料计算灾害平均发生频率,对吉林省东部水稻延迟型冷害的时空特征进行了分析。

四川省水稻生育期主要集中在 3–9 月,时间跨度大,不同生长阶段对低温、连阴雨和低温连阴雨有不同的敏感程度,而分蘖-拔节期是影响水稻正常发育的关键期。鉴于此,根据不同地区水稻生育期的差异,将四川水稻种植区划分为 6 个种植子区域,构建水稻低温、连阴雨和低温连阴雨灾害指标,分析 1961–2020 年四川水稻种植区在分蘖-拔节期低温、连阴雨和低温连阴雨灾害发生频率的时空分布特征,以期能找出

收稿日期:2021-10-09

基金项目:四川省科技计划资助项目(2021YJ0280);气象灾害预测预警与应急管理研究中心开放研究基金资助项目(ZHYJ20-YB02)

低温、连阴雨和低温连阴雨在水稻分蘖-拔节期发生规律,为预报预测、防灾减灾提供线索。

1 资料与方法

1.1 资料来源

研究所用气象资料来自四川省气象局,包括1961-2020年共60 a四川省21个水稻农业气象观测站的逐日平均气温、日照时数和日降水量资料。

1.2 研究方法

1.2.1 种植区划分和生育期确定

四川水稻种植区跨度较大,结合相关文献[12-15],将四川水稻种植区划分为6个子区域,各水稻种植子区域和农气观测站分布见图1。盆周边缘山区包括广元、万源和汉源,盆东平行岭谷区包括达州,盆南丘陵区包括叙永、宜宾和乐山,盆中浅丘区包括资阳、遂宁、高坪、阆中和巴州,盆西平丘区包括温江和都江堰,川西南山地包括木里、越西、昭觉、雷波、盐源、西昌和会理。

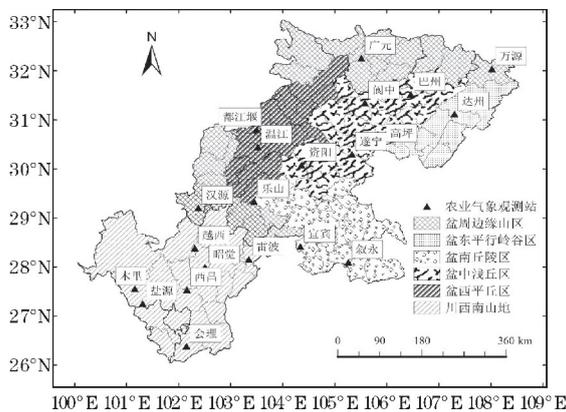


图1 四川水稻种植区划分和农气观测站分布

由于各种种植子区域所处地理位置和气候特点不同,水稻播种时间不一致,因此,生育期划分存在差异。各子区水稻根据其不同的生育期情况进行分析,更符合实际情况,故参考种植区的划分,统计各子区分蘖-拔节期见表1。

表1 四川各子区水稻分蘖-拔节期起止日期

区域名称	分蘖-拔节期
盆周边缘山区	6月11日-6月30日
盆东平行岭谷区	6月1日-6月20日
盆南丘陵区	5月11日-5月31日
盆中浅丘区	6月1日-6月20日
盆西平丘区	6月1日-6月20日
川西南山地	6月1日-6月20日

1.2.2 灾害等级指标

(1)低温灾害等级划分。综合考虑水稻分蘖-拔节期生长发育情况,确定水稻分蘖-拔节期的低温灾害等级指标,如表2所示:若出现 $18.0\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{日平均气温} \leq 20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,导致水稻分蘖缓慢,产生大量浮苗、倒秧,定为轻度低温灾害;若 $15.0\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{日平均气温} \leq 18.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,使已栽水稻(特别是冷浸田)发生坐蔸,形成僵苗弱苗,使正处于分蘖的水稻分蘖迟缓,形不成壮蘖,定为中度低温灾害;若日平均气温 $\leq 15.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,枝梗和颖花大量退化,导致穗总数下降,穗型变小,并可造成空粒,空壳率增加,造成枝梗及颖花的败育,定为重度低温灾害。

(2)连阴雨灾害等级划分。针对连阴雨过程,若某日气象台站出现日降水量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 且日照时数 $< 0.1\text{ h}$,则算作一个雨日,否则为一个非雨日;定义连续雨日3 d及以上为一段连阴雨过程,第1个雨日出现计为连阴雨开始,若出现连续2 d无降水量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 的情况则视为连阴雨结束,开始和结束之间的时段视为连阴雨过程持续时间。为提高连阴雨样本数,在5~7 d的连阴雨过程中允许有1个非雨日,7 d以上的连阴雨过程中允许有不连续的2个非雨日。由于连阴雨灾害天气持续时间越长,对农作物造成的危害越大,所以本文按连阴雨持续天数将连阴雨分为轻度、中度及重度3个等级,划分标准见表2。

表2 四川水稻分蘖-拔节期低温和连阴雨灾害等级指标的划分

灾害等级	低温灾害	连阴雨灾害
	日平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	雨日持续天数/d
轻度	18.0~20.0	3~4
中度	15.0~18.0	5~7
重度	≤ 15.0	≥ 8

(3)低温连阴雨灾害指标。结合文中低温和连阴雨灾害指标及全国春季低温连阴雨统一标准,定义四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨判别标准:单站连续出现3 d以上日降水量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 且日照时数 $< 0.1\text{ h}$,其中允许有1个非雨日,且期间日气温标准化平均 $\leq 20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,定义为该站的一次低温连阴雨过程。

1.2.3 灾害发生频率

根据低温、连阴雨和低温连阴雨灾害指标,计算四川水稻分蘖-拔节期不同站点、不同灾害、不同等级的发生频率(F),即某站分蘖-拔节期不同等级灾害发生的年次数 n 与统计资料总年数 N 之比。其计算公式为

$$F = (n/N) \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 四川水稻分蘖-拔节期低温灾害时空分布

2.1.1 四川水稻分蘖-拔节期低温灾害发生站数的时间变化

统计 1961-2020 年四川水稻种植区分蘖-拔节期不同等级低温灾害发生站数,见图 2。1961-2020 年,四川水稻种植区分蘖-拔节期低温灾害发生站数逐渐减少,但趋势不明显,低温灾害发生最多的年份为 1983 年,发生最少的年份为 2005 年;年际变化呈“W”型阶梯变化趋势,21 世纪初期低温灾害发生较轻。其中轻度低温灾害发生最多的年份为 1985 年,发生最少的年份为 2015 年;中度低温灾害发生最多的年份为 1983 年,发生最少的年份为 2005 年和 2017 年;重度低温灾害发生站数呈显著下降趋势。

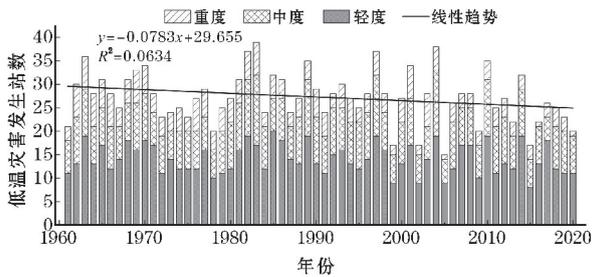


图2 1961-2020年四川水稻分蘖-拔节期不同等级低温灾害发生站数的时间变化

将四川水稻种植区分蘖-拔节期不同等级低温灾害发生站数的10 a平均值作为年代低温灾害发生站数,从表3可以看出,四川水稻种植区各年代轻度和重度低温灾害发生站数均呈减少趋势,20世纪60-80年代中度低温灾害发生站数为先减后增,80年代平均发生站数为10.1;80年代以来不同等级低温灾害发生站数均呈显著减少趋势,以轻度低温灾害降幅最明显,年

代际平均发生站数由16.1降至12.8,中度和重度低温灾害发生站数分别由10.1和4.7降至8.2和2.9。

表3 各年代水稻分蘖-拔节期不同等级低温灾害发生站数统计

	轻度	中度	重度	总数
1961-1970年	15.1	8.7	5.9	29.7
1971-1980年	12.7	7.7	4.7	25.1
1981-1990年	16.1	10.1	4.7	30.9
1991-2000年	13.8	9.2	4.1	27.1
2001-2010年	14.3	8.7	3.9	26.9
2011-2020年	12.8	8.2	2.9	23.9

2.1.2 四川水稻分蘖-拔节期低温灾害发生频率的空间分布

为研究 1961-2020 年四川水稻低温灾害的空间分布,分别计算 21 个站不同等级60 a低温灾害发生频率,得到空间分布图,结果如图3所示。轻度低温灾害发生频率(图3a)范围为23.0%~100.0%,其中频率在70.0%以上的区域主要分布在川西南山地和盆周边缘山区的南部,木里、越西和雷波60 a每年均有发生,频率在40.0%~60.0%的区域主要分布在盆东平行岭谷区、盆南丘陵区、盆西平丘区和盆中浅丘区,轻度低温灾害频率最低为23.0%,位于广元。中度低温灾害发生频率(图3b)范围为1.7%~100.0%,其中频率在80.0%以上的区域主要分布在川西南山地,木里、越西、昭觉和盐源每年均有发生,频率在10.0%~60.0%的区域主要位于盆南丘陵区 and 盆西平丘区,其余地区均低于10.0%,中度低温灾害频率最低为1.7%,位于资阳。重度低温灾害(图3c)主要分布在川西南山地,发生频率范围为21.7%~96.0%,盆南丘陵区的宜宾和乐山发生频率分别为3.3%和1.7%,其余地区均未发生。由此可见,低温灾害高发区在川西南山地,以轻度低温灾害为主。

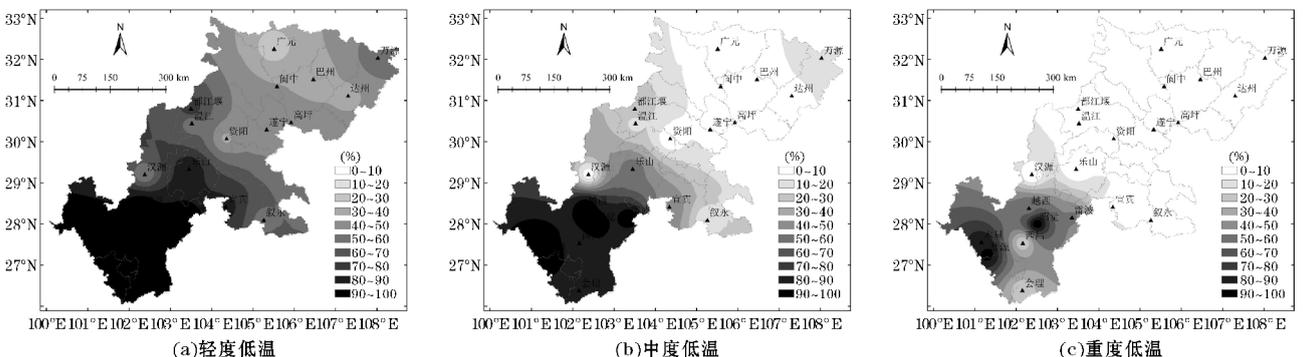


图3 1961-2020年四川水稻分蘖-拔节期不同等级低温灾害发生频率的空间分布

进一步选取1961-1990年和1991-2020年两个时间段,对比四川省水稻种植区低温灾害发生频率分布特征。由图4可知,1990年以前,轻度低温灾害发生频率(图4a)最高为100.0%,分布于川西南山地的西昌、雷波、越西和木里,最低为30.0%,位于广元;中度低温灾害发生频率(图4b)最高为100.0%,分布于川西南山地的雷波、越西、木里、昭觉和盐源,仅汉源未发生中度低温灾害;重度低温灾害发生频率(图4c)最高为100.0%,发生在昭觉和木里。1991年以后,轻度

低温灾害发生频率(图4d)最高为100.0%,分布于川西南山地的雷波、越西和木里,最低为16.7%,位于广元;中度低温灾害发生频率(图4e)最高为100.0%,分布于川西南山地的越西、木里、昭觉和盐源,阆中和资阳未发生中度低温灾害;重度低温灾害发生频率(图4f)最高为93.3%,位于昭觉和盐源。由此可以看出,1991年以后不同等级低温灾害发生频率均略低于1990年以前,灾害程度降低,范围减小。

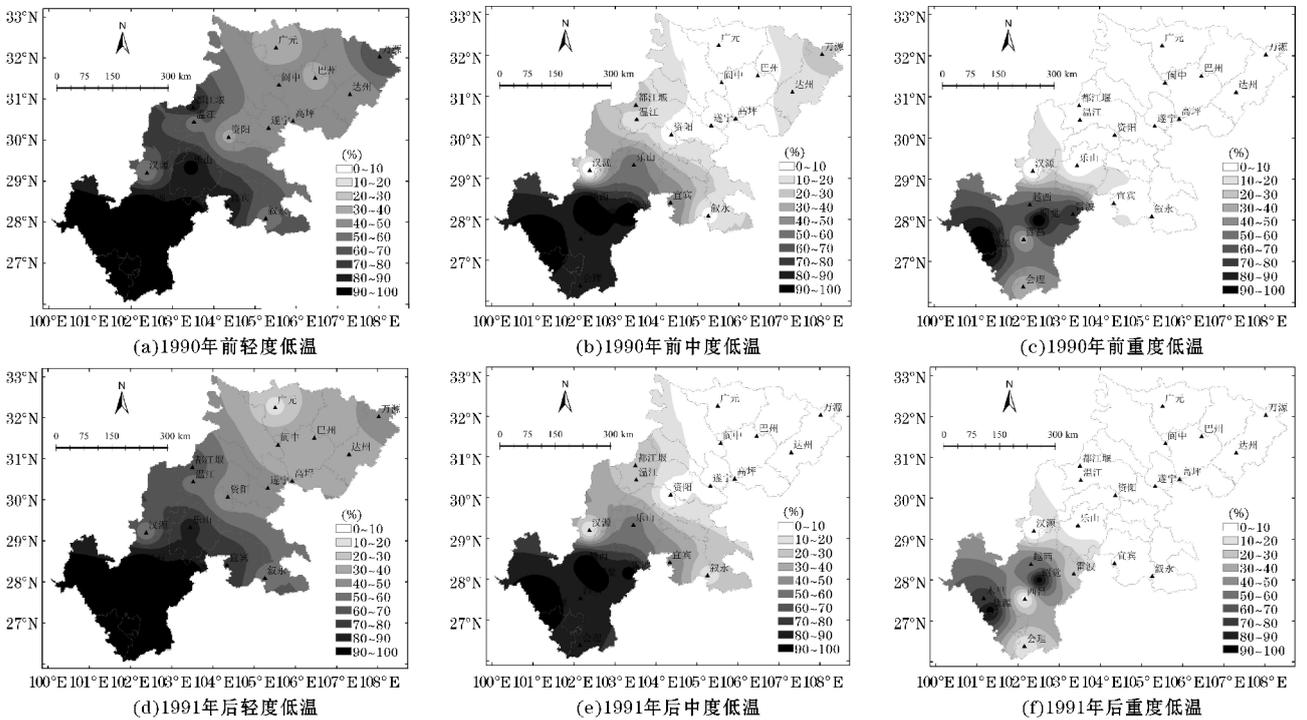


图4 1990年前和1991年后四川水稻分蘖-拔节期不同等级低温灾害发生频率的空间分布

2.2 四川水稻分蘖-拔节期连阴雨灾害时空分布

2.2.1 四川水稻分蘖-拔节期连阴雨灾害发生站数的时间变化

图5为1961-2020年四川水稻种植区分蘖-拔节期不同等级连阴雨灾害发生站数统计,由图5可见,近60 a该地区连阴雨灾害发生站数整体呈现不显著增多趋势,其中连阴雨灾害发生最多的年份为1973年,最少的年份为2020年。分等级统计发现,轻度连阴雨灾害发生最多的年份为1983年,发生最少的年份为1966年和1972年;中度连阴雨灾害发生最多的年份为1973年,有13 a未发生中度连阴雨灾害,集中在20世纪80年代前后和21世纪初期;重度连阴雨灾害发生最多的年份为2014年,有39 a未发生重度连阴雨灾害。

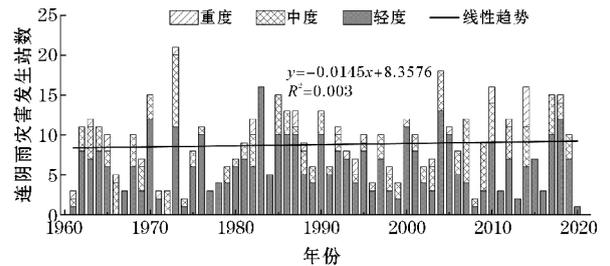


图5 1961-2020年四川水稻分蘖-拔节期不同等级连阴雨灾害发生站数的时间变化

从表4统计水稻分蘖-拔节期不同等级连阴雨灾害的年际变化可以看出,各等级连阴雨灾害站数呈“W”型阶梯变化趋势,其中20世纪70年代为连阴雨灾害发生较轻的年代,轻度、中度和重度连阴雨平均发生站数分别为4.7、1.9和0.2,20世纪80年代连阴雨灾害发生较多,平均发生站数分别为8.3、2.3和0.5,其

次为21世纪00年代。

表4 各年代水稻分蘖-拔节期不同等级连阴雨灾害发生站数统计

	单位:站			
	轻度	中度	重度	总数
1961-1970年	5.4	2.7	0.6	8.7
1971-1980年	4.7	1.9	0.2	6.8
1981-1990年	8.3	2.3	0.5	11.1
1991-2000年	5.8	1.5	0.6	7.9
2001-2010年	6	3.5	0.4	9.9
2011-2020年	5.8	1.9	0.7	8.4

2.2.2 四川水稻分蘖-拔节期连阴雨灾害发生频率的空间分布

从图6可以看出,1961-2020年四川水稻分蘖-拔节期连阴雨灾害高发区位于水稻种植区的中南部,其中轻度连阴雨灾害发生频率(图6a)范围为8.3%~

48.3%,频率在40.0%以上的区域主要分布在川西南山地、盆周边缘山区和盆南丘陵区的昭觉、汉源和宜宾,频率最高为48.3%,位于宜宾,频率在20.0%以下的区域主要分布在川西南山地和盆中浅丘区的盐源、木里、会理、高坪和阆中。中度连阴雨灾害(图6b)的空间分布表现为,频率在18.0%以上的区域主要分布在川西南山地、盆周边缘山区的昭觉、越西、雷波、西昌和汉源,频率最高为25.0%,位于昭觉,频率在5.0%以下的区域主要分布在川西南山地、盆西平丘区和盆中浅丘区的盐源、木里、温江、遂宁和资阳。重度连阴雨灾害(图6c)空间分布表现为,除川西南山地和盆南丘陵区的越西、雷波和叙永频率最高为5.0%~11.7%外,其余地区均低于5.0%。由此可见,在水稻分蘖-拔节期,连阴雨灾害高发区在川西南山地、盆周边缘山区及盆南丘陵区,以轻度连阴雨灾害为主。

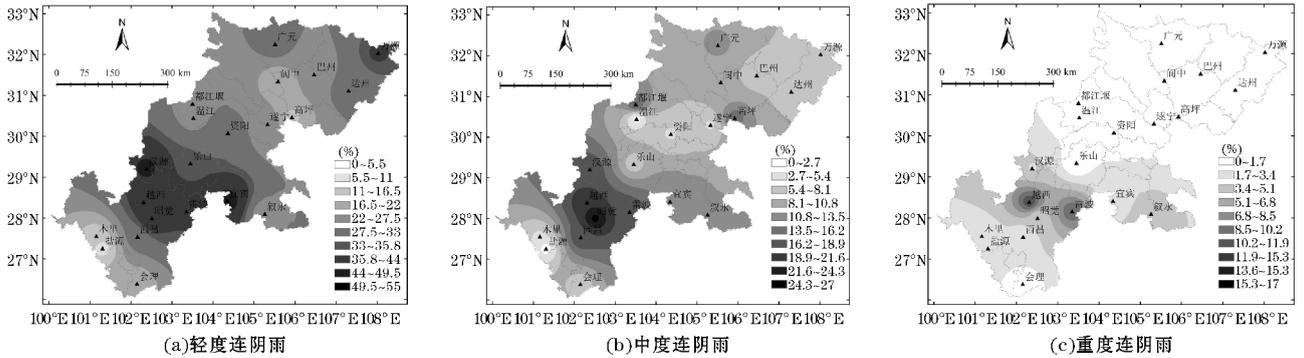


图6 1961-2020年四川水稻分蘖-拔节期不同等级连阴雨灾害发生频率的空间分布

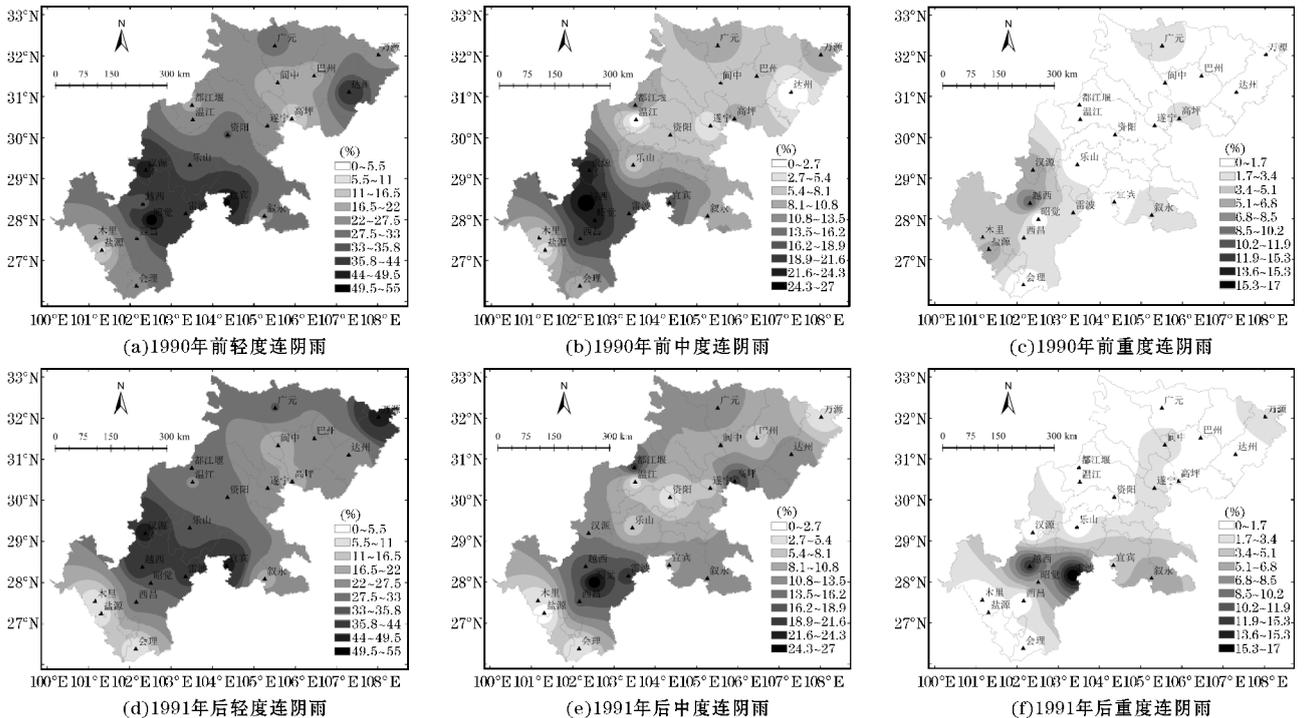


图7 1990年前和1991年后四川水稻分蘖-拔节期不同等级连阴雨灾害发生频率的空间分布

选取1961–1990年和1991–2020年两个时间段,对比四川省水稻种植区连阴雨灾害发生频率分布特征。由图7可知,1990年以前,轻度连阴雨灾害发生频率(图7a)最高为53.3%,位于川西南山地昭觉,最低为10.0%,位于盆中浅丘区的高坪;中度连阴雨灾害发生频率(图7b)最高为26.7%,位于川西南山地的越西,温江和达州未发生中度连阴雨灾害;重度低温灾害发生频率(图7c)最高为10.0%,位于川西南山地的越西。1991年以后,轻度连阴雨灾害发生频率(图7d)最高为46.7%,位于盆南丘陵区宜宾,最低为6.7%,位于川西南山地的盐源;中度连阴雨灾害(图7e)除川西南山地的昭觉发生频率最高仍为26.7%外,其余地区均低于20.0%,位于川西南山地的盐源未发生中度连阴雨灾害。重度连阴雨灾害发生频率(图7f)最高为16.7%,位于川西南山地的雷波。由此可以看出,1991年以后轻度和中度连阴雨灾害发生频率均略低于1990年以前,灾害程度降低,范围减小,重度连阴雨灾害相反。

2.3 四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨灾害时空分布

2.3.1 四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨灾害发生站数的时间变化

图8为1961–2020年四川水稻种植区分蘖-拔节期低温连阴雨灾害发生站数统计,可以看出,四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨灾害发生站数呈不显著下降趋势。除1961年、1967年、1972年、1974年、1999年、2013年、2020年未发生低温连阴雨外,53a都有不同程度的低温连阴雨发生,2004年低温连阴雨发生最多,站数为15。20世纪80年代为低温连阴雨灾害发

生较重的年代,平均发生站数为6.6,21世纪00年代中期以来,低温连阴雨发生站数逐渐减小,近10a平均发生站数为3.9。

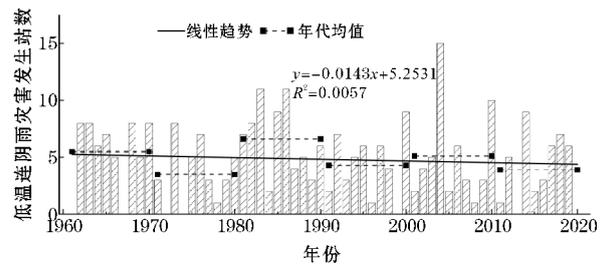


图8 1961–2020年四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨灾害发生站数的时间变化

2.3.2 四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨灾害发生频率的空间分布

分别计算四川水稻种植区21个站不同等级1961–2020年、1961–1990年和1991–2020年分蘖-拔节期低温灾害发生频率,由图9(a)可知,1961–2020年低温连阴雨灾害发生频率范围为3.3%~65.0%,灾害高发区位于川西南山地北部,发生频率在50.0%以上,向南北方向递减,最低位于盆周边缘山区的广元;1990年以前(图9b),低温连阴雨灾害发生频率最高为66.7%,位于川西南山地的越西,1991年以后(图9c),低温连阴雨灾害发生频率最高为70.0%,位于川西南山地的昭觉;1990年以前,盆周边缘山区的广元未发生低温连阴雨灾害,1991年以后灾害发生频率为6.7%。由此可以看出,1991年以后低温连阴雨灾害发生频率略低于1990年以前,灾害高发中心略微北移,仍分布于川西南山地北部。

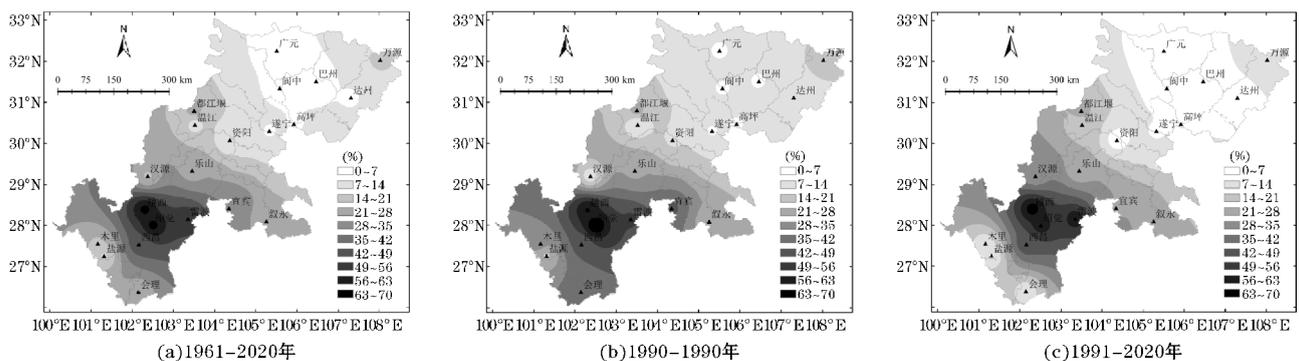


图9 四川水稻分蘖-拔节期低温连阴雨灾害发生频率的空间分布

3 结论与讨论

研究基于四川水稻种植区21个农业气象观测站的气象资料,综合四川地形特征,分析近60a四川水稻种植区低温、连阴雨和低温连阴雨时空变化特征,探讨

水稻分蘖-拔节期低温、连阴雨和低温连阴雨发生规律,对认识四川地形差异背景下水稻低温、连阴雨和低温连阴雨、提高其预报预测准确率具有重要意义,并为其防灾减灾提供线索,主要结论如下。

(1)四川水稻种植区分蘖-拔节期低温灾害发生站数最多的年份为1983年,发生最少的年份为2005

年,年际变化呈“W”型阶梯变化趋势,其中轻度和中度低温灾害发生站数最多的年份分别为1983年、1985年;不同等级低温灾害发生站数自20世纪80年代以来均呈现显著减少趋势,以轻度低温灾害降幅最明显;低温灾害空间格局总体上呈现“山区多,盆地少”的分布特征,川西南山地为低温灾害高发区,其中轻度低温灾害发生频率在90.0%以上,中度低温灾害发生频率在80.0%以上;对比1961-1990年和1991-2020年两个时间段低温灾害发生频率分布特征发现,1991年以后不同等级低温灾害发生频率均略低于1990年以前,灾害程度降低,范围减小。

(2)四川水稻种植区分蘖-拔节期连阴雨灾害发生站数最多的年份为1973年,最少的年份为2020年。各等级连阴雨灾害年代际站数呈“W”型阶梯变化趋势,其中20世纪70年代为连阴雨灾害发生较轻的年代,80年代连阴雨灾害发生较多,其次为21世纪00年代;连阴雨灾害高发区位于川西南山地、盆周边缘山区及盆南丘陵区,其中轻度连阴雨灾害发生频率在40.0%以上,中度连阴雨灾害发生频率在18.0%以上;对比1961-1990年和1991-2020年两个时间段连阴雨灾害发生频率分布特征发现,1991年以后轻度和中度连阴雨灾害发生频率均略低于1990年以前,灾害程度降低,范围减小,重度连阴雨灾害相反。

(3)四川水稻种植区分蘖-拔节期低温连阴雨灾害发生站数最多的年份为2004年,从年代际变化看,低温连阴雨灾害多发生于20世纪80年代;1961-2020年低温连阴雨灾害发生频率范围为3.3%~65.0%,灾害高发区位于川西南山地北部,发生频率在50.0%以上,向南北方向递减;1991年以后低温连阴雨灾害发生频率略低于1990年以前,灾害高发中心略微北移。

四川水稻种植区分蘖-拔节期低温、连阴雨和低温连阴雨的时空分布具有明显的地域性特征,形成这种现象的原因考虑是四川省水稻种植区地形复杂,南部的川西南山地由于地势较高,有可能形成局部小气候,根据对流层气温的变化规律,在同一纬度地带,地势越高,气温越低,降水在一定高度的范围内,随高度的升高而增加。同时相关研究表明,地形可宏观影响气候:在干旱地区山地易形成“雨极”,如中国祁连山、天山降水多于周围地区,是西北地区的“雨极”。此外,1991年以后低温、连阴雨和低温连阴雨灾害均略低于1990年以前,说明基于全球气候变暖,低温连阴雨灾害对四川各区域水稻影响程度有减弱趋势。

参考文献:

- [1] 江益,范广洲,周定文,等.四川秋季连阴雨的变化特征和时空分布[J].气象科学,2013,33(3):316-324.
- [2] 刘佳,陈超,张玉芳,等.四川单季稻抽穗扬花期和灌浆结实期高温热害时空特征[J].中国农业气象,2018,39(1):46-58.
- [3] 刘琰琰,张玉芳,王明田,等.四川盆地水稻不同生育期干旱频率的空间分布特征[J].中国农业气象,2016,37(2):238-244.
- [4] 王继志,郭进修.我国南方低温连阴雨天气的研究[J].气象科技,1981(1):1-9.
- [5] 曹磊,李永利,余予,等.中国南方地区1961-2018年冬春季低温连阴雨过程时空变化分析[J].气象科学,2021,41(1):78-85.
- [6] 黄露菁.广东省低温阴雨天气的气候特征和类型[J].中山大学学报(自然科学版),1999(2):105-109.
- [7] 纪忠萍,谢炯光.广东省春季低温阴雨的年景变化趋势分析[J].热带气象学报,2000(1):76-84.
- [8] 王佩芸.2008年海南省长低温阴雨天气主要成因及其预报[J].气象研究与应用,2010,31(2):22-25.
- [9] 许孟会,赵辉,王晋,等.春季低温连阴雨对农业生产的影响及防御[J].湖南农业科学,2008(6):63-65.
- [10] 李雪.春季连续及阴雨气象对小麦与水稻产量的影响分析与应对策略研究[J].农业开发与装备,2020(11):60-61.
- [11] 朱萌,周沫,乌兰,等.吉林省东部水稻延迟型冷害时空分布特征分析[J].灾害学,2015,30(3):223-228.
- [12] 庞艳梅,陈超,马振峰.未来气候变化对四川省水稻生育期气候资源及生产潜力的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(1):58-68.
- [13] 赵艺,秦宁生,卢杰,等.近53年四川省水稻生育期热量条件变化规律研究[J].西南大学学报(自然科学版),2016,38(11):8-15.
- [14] 陈东东,栗晓玮,张玉芳,等.四川省水稻关键生育期不同等级干旱评估研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2017,42(10):69-77.
- [15] 卢杰,高楷祥,赵艺.气候变暖对四川盆地水稻生育期的影响分析[J].青海气象,2018(1):44-50.

Space-time Distribution of Continuous Cold Rainy Weather on Rice during Tillering-jointing Stage in Sichuan Province

JIANG Nan¹, YUAN Shujie¹, LIU Zhihan¹, RUAN Dichen¹, PENG Yingjie², WANG Jinsong³

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. College of Communication Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China)

Abstract: According to the disaster standards of low temperature, continuous rain and continuous cold rainy weather, the spatial and temporal distribution of low temperature, continuous rain and continuous cold rainy weather were analyzed by using of statistics method based on daily average temperature, sunshine hours and precipitation from 1961 to 2020 at 21 agrometeorological observation stations during tillering-jointing stage of rice in Sichuan Province. The results showed as follows: (1) The mild, moderate and severe low temperature occurred most in 1985 and 1983 while least in 2015 and 2017. The number of stations with different grades of low temperature disaster showed a significant decreasing trend from 1980s. The frequency range of mild, moderate and severe low temperature was 23.3%–100.0%, 1.7%–100.0% and 0%–96.0%. The low temperature often occurred in the Leibo, Yuexi, Muli, Yanyuan and Zhaojue of mountain area of southwest Sichuan. The distribution of low temperature showed “multi in mountainous and less in basin”. (2) The continuous rain occurred most in 1973 while least in 2020. The frequency range of mild, moderate and severe continuous rain was 8.3%–48.3%, 1.7%–25.0% and 0%–11.7%. The continuous rain often occurred in the Yibin, Zhaojue and Yuexi of hilly area of southern basin and mountain area of southwest Sichuan. The frequency showed a diminishing trend from the high-value area to the south and north. (3) The continuous cold rainy weather occurred most in 2004. The number of stations of continuous cold rainy weather showed a decreasing trend from the mid-2000s, the annual mean of the number in recent 10 years is 3.9. The continuous cold rainy weather often occurred in the Leibo, Yuexi and Zhaojue of mountain area of southwest Sichuan, with a frequency range of 50.0% to 65.0%, declining to the south and north. (4) Except for severe continuous rain disasters, the frequency of different grades of low temperature, continuous rain and continuous cold rainy weather after 1991 was slightly lower than before 1990. Compared with low temperature disasters, continuous rain and continuous cold rainy weather have fewer stations and smaller disaster scope.

Keywords: Sichuan Province; rice; transplanting-tillering stage; low temperature; continuous rain