

气候变化影响了江西省主要农作物产量吗? ——基于江西省 30 年省级数据的实证

汤 晋¹, 李 文², 陈洋庚^{2*}, 李辉婕², 刘书成^{3*}

(1. 江西农业大学经济管理学院, 南昌 330045; 2. 江西农业大学人文与公共管理学院, 南昌 330045; 3. 吉林省双辽市郑家屯街农村集体经济服务中心, 吉林 双辽 136400)

摘 要: 为了研究气候变化对江西主要农作物的影响, 本文基于江西省 1988~2018 年的相关数据, 运用 Mann-Kendall 检测、H-P 滤波法以及多元回归法分析了江西省气候变化、6 大主要农作物产量变化以及气候因素对农作物单产的影响。结果表明: 气温升高对江西主要农作物单产均有显著正效应。稻谷和油料作物受气候变化冲击的波动最小; 小麦、玉米和薯类受气候变化冲击波动较大。建议江西省保持现有农作物种植结构以及改进田间管理技术以应对气候变化带来的危害。

关键词: 气候; 农作物; 产量; Mann-Kendall 检测; H-P 滤波法; 多元回归法; 江西省

中图分类号: S162.5³

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)06-0103-06

Does Climate Change Affect the Production of Major Crops in Jiangxi Province?

—An Empirical Study on 30 Years of Provincial Data in Jiangxi Province

TANG Jin¹, LI Wen², CHEN Yanggeng^{2*}, Li Huijie², LIU Shucheng^{3*}

(1. College of Economics and Management, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045; 2. College of Humanities and Public Administration, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045; 3. Zhengjiatun Street Rural Collective Economic Service Station, Shuangliao City, Jilin Province, Shuangliao 136400, China)

Abstract: In order to study the impact of climate change on major crops in Jiangxi Province, this paper analyzed climate change in Jiangxi Province, yield changes of six major crops and the impact of climate factors on yield per unit area of crops by using Mann-Kendall test, H-P filter and multiple regression method based on the relevant data of Jiangxi Province from 1988 to 2018. The results showed that: The temperature rise has a significant positive effect on the yield per unit area of main crops in Jiangxi Province. Rice and oil crops have the least fluctuation in the impact of climate change. Wheat, corn and potato are subject to great fluctuations due to climate change. It is suggested that Jiangxi Province maintain the existing crop planting structure and improve field management techniques to cope with the hazards of climate change.

Key words: Climate; Crop; Yield; Mann-Kendall Detection; H-P filtering; Multiple regression; Jiangxi Province

全球气候变暖, 农作物生产对气候变化的反应非常灵敏^[1]。我国是有着超 14 亿人口的大国, 需要用有限的土地养活全世界最多的人口, 如何

适应和利用气候变化来调整农业生产是众多学者关注的焦点。

目前学者们关于气候变化对农作物产量影响的研究越来越多, 曾志勇^[2]、邱美娟等^[3-4]、王萍等^[5]分析了气候变化对东北地区水稻、玉米等农作物的影响, 曹大字等^[6]实证分析了气候变化对江西鄱阳湖地区水稻种植模式的影响。吴珊珊等^[7]建立气候产量预测模型, 预测江西水稻气候产量呈正负波动状态。付莲莲等^[8]通过构建“气候-经济”新模型研究气候因子对水稻产量的贡献率。吕伟生等^[9]采用安全生产临界温度指标研究了江西

收稿日期: 2020-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(71963020); 江西省自然科学基金项目(20181BAA208055); 江西省社会科学基金项目(17GL128)

作者简介: 汤 晋(1987-), 男, 讲师, 博士, 主要从事畜牧经济理论与政策研究。

通讯作者: 陈洋庚, 男, 副教授, E-mail: ygchen@jxau.edu.cn

刘书成, 男, 高级农经师, E-mail: zjtjfb@163.com

双季稻安全生产期及温光资源的变化规律等等。

综合现有文献,学者们在气候变化对农作物的影响研究上取得了丰硕的成果,为农作物应对气候变化提供了良好的理论基础。但现有研究也存在不足:江西学者的研究都是探讨气候变化对水稻的影响,对于其他的作物极少涉猎,如玉米、小麦、油料作物等的研究尚存在空白,所以本文基于1988~2018年统计数据,分析气候变化对江西省6大农作物(稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类和油料作物)产量的影响。

1 材料与方法

1.1 区域概况

江西省地处长江中下游交接处的南岸,气候具有亚热带湿润特色,年际气温、降水变化较大。年均气温16.2~19.7℃,年均降水1341.4~1934.4 mm,年均日照为1259~1905 h。截至2018年,全省农作物播种面积为5555.93千公顷,其中稻谷占62.8%,小麦占0.26%,玉米占0.63%,豆类占2.29%,薯类占18.3%,油料作物占12.2%。2018年粮食产量全国第13,稻谷产量全国第三。

1.2 计算方法

1.2.1 非参数 Mann-Kendall 趋势检验及突变检测

Mann-Kendall 用于检测序列的变化趋势和气候突变^[10]。

趋势检验,对于时间序列,定义统计量S为:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{Sign}(X_i - X_j) \cdots \cdots (1)$$

(1)式中,当 $X_i - X_j$ 分别大于、等于或小于零时,统计量S分别为1、0或-1。

$$\begin{cases} Z = \frac{S-1}{\sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}}} \cdots \cdots S > 0 \\ Z = 0 \cdots \cdots S = 0 \cdots \cdots (2) \\ Z = \frac{S+1}{\sqrt{\frac{n(n-1)}{18}}} \cdots \cdots S < 0 \end{cases}$$

(2)式中,Z为正值表示增加趋势,负值表示减少趋势。当Z的绝对值大于等于1.28、1.64、2.32时,表示分别通过了置信度0.90、0.95、0.99的显著性检验。

突变检测,对于时间序列 X_i ,构造一秩序列 r_i , r_i 表示 $X_i - X_j$ ($1 < j < i$)的样本积累数。定义 S_k :

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_j \cdots \cdots (k=2,3,\cdots,n)$$

S_k 的均值 $E(S_k)$ 以及方差 $\text{var}(S_k)$ 定义如下:

$$\begin{aligned} E(S_k) &= \frac{n(n+1)}{4} \\ \text{var}(S_k) &= \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \\ UF_k &= \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} (k=1,2,\cdots,n) \end{aligned}$$

所有 UF_k 将组成一条曲线,把此方法引用到反序列中,再重复上述计算过程,并使计算值乘以-1,得到 UB_k 。

1.2.2 H-P 滤波法

H-P 滤波法,主要思路是构建一个高通滤波器,将时间序列中低频部分滤除,从而达到高低频分离的目的,用以区分趋势产量和气候产量。

设时间序列 $\{y_t\}$ ($t=1,2,\cdots,n$)

$$y_t = g_t + c_t \cdots \cdots (3)$$

$$g_t = \min \left\{ \sum_{i=1}^n (y_i - g_i) + \lambda \sum_{i=1}^n [(g_{i+1} - g_i) - (g_i - g_{i-1})]^2 \right\}$$

当 $\lambda=0$ 时, $g_t=y_t$,说明不存在随机波动;当 λ 趋近无穷时,趋势序列近似于一条水平线。根据研究经验,当时间序列为年度序列时, λ 的取值为100^[11]。

1.2.3 多元线性回归模型

多元线性回归模型:

$$y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + \varepsilon$$

y 为农作物气候单产; x_1 为年均气温, x_2 为年均降水量, x_3 为年均日照时长。

1.3 数据来源

数据来源于历年《中国农村统计年鉴》和《江西省统计年鉴》。

2 结果与分析

2.1 气候变化特征

2.1.1 气温

如图1,平均气温为18.4℃,最高温为19.2℃(2013年),最低温为17.7℃(1996年),气温变化倾向率0.363℃/10 a。 $Z=3.73>2.32$,表明江西省年均气温上升趋势极显著。突变检验中,江西省气温在2002年存在突变。UF曲线在1997年左右穿过了水平0值线,并且快速上升,在2003年左右越过了0.05显著性水平上的临界值,表明江西省在1997年之后的平均气温较之前明显偏高,且这种偏高的趋势在2003年之后更加显著。

2.1.2 降水量

平均降水量1717.44 mm,最大降水2314 mm(1998年),最小降水1232.9 mm(2011年),变化

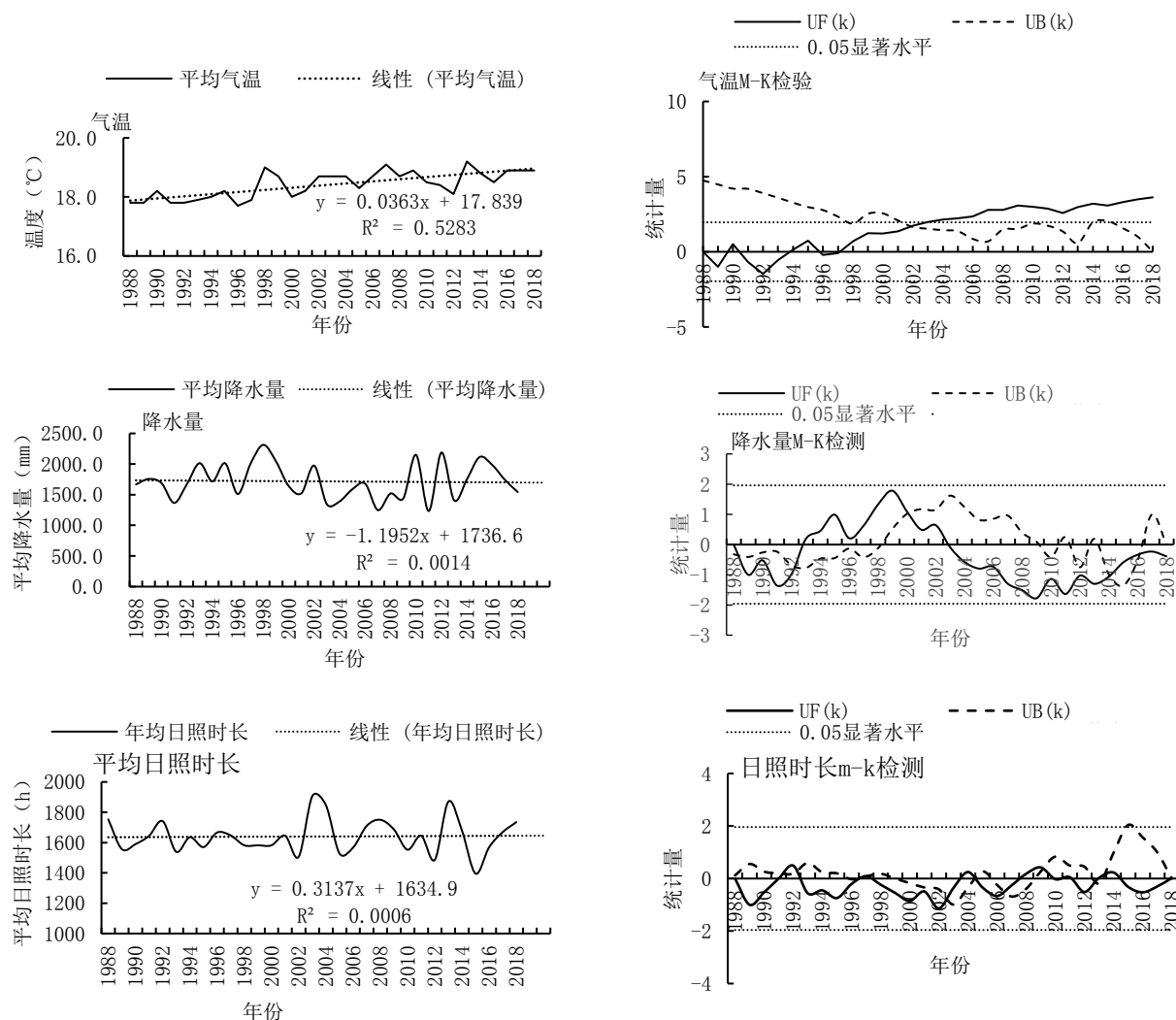


图1 1988~2018年江西省气候变化特征与检验

倾向率为 $-1.2 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。 $R^2=0.0014$, $Z=-0.34$,均未通过置信度90%、95%、99%显著性检验,表明江西省平均降水量不符合线性相关性。剔除异常偏高的1998年的平均降水量(1998年江西发生特大洪水灾害),1988~1997年平均降水量最大值与最小值之差为643 mm,1999~2008年为794.7 mm,2009~2018年为956.1 mm,这一结果可以初步表明江西省年降水量的波动幅度有所加强。突变检验中,江西省年均降水量在1988~1989、1992~1993、2000~2001、2014~2015、2016~2017年间存在突变现象。UF曲线始终在0.05显著性水平的上下临界值之内波动,这表明江西省年均降水量可能不存在明显的年际变化趋势。

2.1.3 日照时长

年均日照时长1639.96 h,最大值1906.4 h(2003年),最小值1395.3 h(2015年),日照变化倾向率为 $3.14 \text{ h}/10 \text{ a}$ 。 $R^2=0.0006$, $Z=0.05$,均未通过置信度90%、95%、99%显著性检验,表明江西

省年均日照时长不符合线性相关性。1988~1997年年均日照时长最大值与最小值之差为214.8 h,1998~2007年为399.9 h,2008~2018年为475 h,这一结果可以初步表明江西省年均日照时长的波动幅度有所加强。突变检验中,江西省年均日照时长在1991~1992年间、1992~1993年间、1997年、2003年、2007年、2009~2010年间、2013~2014年间存在突变现象。在样本区间内,UF曲线始终在0.05显著性水平的上下临界值之内波动,这表明江西省年均日照时长可能不存在明显的年际变化趋势。

2.2 农作物气候单产分析

为了进一步分析农作物产量与气候的关系,本文采用Eview 10对江西省主要农作物单产进行H-P滤波分解,将农作物的单产分解为趋势单产和气候单产。

2.2.1 趋势单产和气候单产

(1) 稻谷单产呈现出明显的上升趋势,涨幅

31.8%。趋势单产几乎呈直线上升,增幅平均48.62 kg/hm²。稻谷的气候单产在-319~290 kg/hm²之间波动,有20个年份气候状况有利于稻谷生产,其中1996年(290 kg/hm²)和1997年(186 kg/hm²)表现最为显著。(2)小麦单产也呈现出显著的上升趋势,比稻谷的上升趋势更陡峭,涨幅达到109.47%。趋势单产平均增幅为41.85 kg/hm²。2001年左右增幅稍微放缓一点,2005年又鳌头并进。小麦的气候单产在-174~112 kg/hm²之间波动,有17个年份气候状况有利于小麦生产,其中1999年(112 kg/hm²)和2010年(100 kg/hm²)表现最为显著。(3)玉米单产呈现出陡峭的上升趋势,涨幅达到80.25%。趋势单产从1993~2008年非常陡峭的直线上升,增幅平均达到117.3 kg/hm²。从2008年以后上升趋势平坦了很多,增幅平均为23.16 kg/hm²。玉米的气候单产在-379~448 kg/hm²之间波动,波动幅度比较大,有10个年份气候状况有利于玉米生产,其中1993、2000、2009和2010年表现最为显著,气候单产均在300 kg/hm²以上。(4)豆类单产呈现比较平缓的上升趋势,涨幅129.45%。趋势单产呈曲线上升,1988~1992年平均增幅42.46 kg/hm²,1993~1997年增幅有所下降,为21.62 kg/hm²,从1998年又开始加速上升,平均增幅为39.38 kg/hm²。豆类的气候单产在-140~203 kg/hm²之间波动,有13个年份气候状况有利于豆类生产,其中1992和2004年表现最为显著,气候单产均超过200 kg/hm²。

(5)薯类单产呈现上升趋势,涨幅112.49%。趋势单产呈线弧度上升,明显分两个阶段,1988~1995年快速上升,平均增幅159.12 kg/hm²,1996年后上升趋势平缓了很多,增幅下降为50.82 kg/hm²。气候单产在-373~265 kg/hm²之间波动,波动幅度比较大,有16个年份气候状况有利于薯类生产,其中1995、2000、2005和2006年表现最为显著,气候单产均超过200 kg/hm²。(6)油料作物。油料作物单产仍然呈现上升趋势,涨幅136.8%。趋势单产几乎是一条完美的向右上方倾斜的直线,平均增幅35.32 kg/hm²。油料作物的气候单产在-147~65 kg/hm²之间波动,波动幅度比较小,有16个年份气候状况有利于油料作物生产,其中1994年(65 kg/hm²)和2004年(58 kg/hm²)表现最为显著。

2.2.2 相对气候单产

(1)相对气候单产即气候单产率,是气候产量和趋势产量的比值,用来反映农作物产量偏离趋势产量的程度,从而说明气候变化对其产量波动的影响^[12]。气候单产率>0,表明该年气候状况对农作物生产有利;气候单产率<0,则表明该年份气候状况不利,为气候歉年;气候单产率<-5%,则该年的气候状况损害了农作物生产,为气候灾年。

如表1和图2所示,稻谷的气候单产率在六种农作物中波动最小,相对来说比较平稳,油料作物除了1998年异常低之外,也是比较平稳的。其中,波动最大的是玉米和豆类。

表1 主要农作物气候单产率 %

气候单产率	稻谷	小麦	玉米	豆类	薯类	油料作物
最小值	-5.92	-11.04	-14.50	-12.22	-8.91	-14.17
最大值	5.66	7.71	16.99	15.44	7.9	7.11

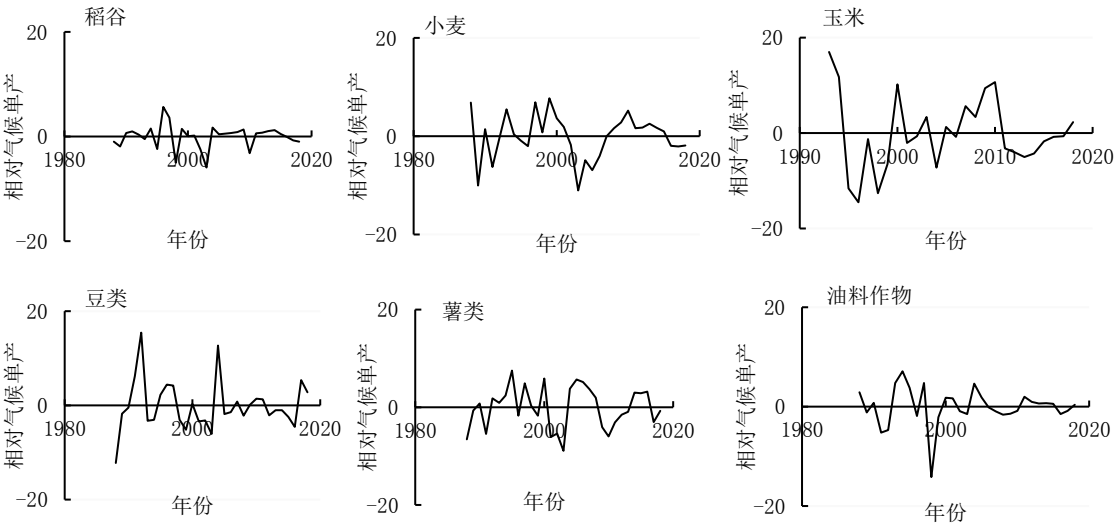


图2 主要农作物相对气候产量

(2)为了进一步考察气候对农作物减产的影响,提出两个指标:气候减产率和减产变异系数。平均减产率为所有气候歉年的气候减产率的平均值,减产变异系数为气候歉年的标准差和其单产的平均值的比值,表明气候减产的波动情况^[13]。

如表2所示,表明江西气候变化对农作物生

产波动的影响存在差别,不同农作物所受的影响程度不同,对小麦、油料作物和玉米影响较大,对稻谷和豆类影响相对较小。稻谷遭遇的歉年和灾年最少,平均减产率最少,减产变异系数最低,豆类的歉年数最多,但灾年数相对较少,平均减产率和减产变异系数都相对来说比较低。

表2 江西省主要农作物气候减产分析

	稻谷	小麦	玉米	豆类	薯类	油料作物
气候产量最小值 (kg/hm ²)	-319 (2003年)	-174 (2003年)	-379 (1996年)	-140 (1988年)	-270 (2010年)	-147 (1998年)
气候产量最大值 (kg/hm ²)	290 (1996年)	112 (1999年)	448 (2010年)	203 (1992年)	265 (1995年)	58 (2004年)
歉年数(个)	11	13	16	18	15	15
灾年数(个)	2	4	5	3	6	2
平均减产率(%)	-2.2	-4.2	-4.8	-3.2	-3.7	-2.6
减产变异系数	0.107	0.268	0.225	0.196	0.202	0.265

2.3 气候变化的影响分析

如表3所示,降水对稻谷有负向弱影响,对小

表3 江西主要农作物气候单产多元线性回归结果

作物	变量	系数	标准差	统计量	概率值
稻谷	C	1847.97*	915.61	2.02	0.053 6
	X ₁	-62.37	47.41	-1.32	0.199 4
	X ₂	-17.62*	9.66	-1.82	0.079 2
	X ₃	-24.17	25.73	-0.94	0.356 0
小麦	C	-142.50	523.54	-0.27	0.787 6
	X ₁	-7.00	27.11	-0.26	0.798 2
	X ₂	9.77*	5.52	1.77	0.088 3
	X ₃	6.32	14.71	0.43	0.670 7
玉米	C	1537.67	3262.58	0.65	0.521 9
	X ₁	-19.62	128.82	-0.15	0.880 3
	X ₂	-22.05	22.59	-0.98	0.339 7
	X ₃	-48.38	63.01	-0.77	0.450 7
豆类	C	344.64	617.32	0.56	0.581 3
	X ₁	-29.59	31.97	-0.93	0.362 8
	X ₂	-3.08	6.51	-0.47	0.639 7
	X ₃	15.45	17.35	0.89	0.381 1
薯类	C	464.21	1406.06	0.33	0.743 8
	X ₁	13.95	72.81	0.19	0.849 5
	X ₂	-2.61	14.83	-0.18	0.861 8
	X ₃	-41.24	39.52	-1.04	0.306 0
油料作物	C	595.65*	304.41	1.96	0.060 8
	X ₁	-26.10	15.76	-1.66	0.109 4
	X ₂	-3.69	3.21	-1.14	0.261
	X ₃	-3.15	8.56	-0.37	0.715 7

注:*表示通过置信水平为0.1的显著性检验

麦有正向弱影响。对于稻谷、玉米和油料作物而言,气温、降水和日照均有负向影响。根据已有的研究,导致这种结果可能的原因在于:其一,长江中下游地区高温主要影响的是中稻,对早稻影响较小^[14]。在江西的稻谷总产量中,中稻占比非常少,早稻产量约占33%,晚稻占比约62%。而其他作物对气温变化的反映不如稻谷敏感^[10],所以,整体上气温的影响不显著。其二,稻谷开花期和乳熟后期的阴雨天气增加会导致稻谷空秕率增加,产量下降^[12]。小麦在不同生长阶段对于降水的需求量不同,播种一分蘖期对降水需求量多,抽穗一成熟期对降水需求量少^[13]。所以降水对江西水稻有负向弱影响。

降水量和日照时长对这六大农作物基本均为负向影响,但对农作物单产均没有显著影响。可能的原因在于:农作物单产都有明显的上升趋势,且线性关系显著,气温也有明显的上升趋势,线性关系也显著,豆类在这六大作物中单产线性增幅最平缓。而降水和日照均没有明显趋势,但是波动大,增减容易抵消,导致影响不显著。其实,降水量明显增加并且日照时长缩短以及降水量明显减少并且日照时长增加均会导致农作物明显减产,根据之前的分析得知,导致农作物普遍明显减产的年份有1991、1998和2003年,1991年是小麦、薯类和油料作物的气候歉年,1990~1991年,降水明显减少,日照增加;1998年是稻谷、玉米的气候歉年,是油料作物的气候灾年,这一年江西特大洪水灾害,而且日照时长相对1997年也

明显缩短;2003年是稻谷、豆类和薯类的歉年,2002~2003年,降水量减少约600 mm,日照增加约400 h,所以这两种气候现象对于江西农作物产量的影响非常大。

3 讨论

分析得出,1998~2018年江西省年均气温以 $0.363\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速率显著上升,年均降水量和年均日照时长没有显著变化趋势,但波动都有所加强。气温对江西的稻谷、小麦、玉米、薯类和油料作物的单产都有显著正效应。本文的不足之处:一是由于资料获取的局限性,无法获取到江西省各个地市的相关资料,不能详细分区域来研究。二是用季度的气象资料来分析气候变化对农作物生产的影响将会更加精准,由于资料获取的局限性,本文都是利用年均气象数据。三是本文未考虑积温和气候变暖下 CO_2 浓度对农作物产量的影响。四是极端气候对农作物产量的影响也是非常大的,本文未涉及这方面研究。在后续的研究中,将会对上述问题作进一步考察。

4 结论与启示

4.1 结论

(1)江西省气温有明显变暖的趋势,增速为 $0.363\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。降水量和日照时长并无明显的趋势变化,但是波动越来越大,导致极端气候的可能性在增加。气温对稻谷、小麦、玉米、薯类和油料作物的单产都有显著正效应,而降水和日照并无显著影响。(2)这31年间,江西这几种主要农作物的单产都有明显的递增趋势;气候对江西农作物单产的影响也是利弊共存,有气候丰年,也有气候歉年甚至气候灾年,不同的农作物所受的影响程度是有差异的。其中,稻谷和油料作物遭受的气候歉年和气候灾年次数最少,平均减产也最少,受气候变化冲击的波动也最小。相比之下,小麦、玉米和薯类遭受的气候灾年数较多,气候平均减产也较多,受气候变化冲击波动较大。(3)降水量明显增加同时日照时长明显缩短和降水量明显减少同时日照时长明显增加这两种气候变化容易导致江西省农作物减产。

4.2 启示

(1)本文研究结果表明,过去这31年中,气候变暖是整体趋势,江西这六大农作物除了豆类以外单产受气温升高的影响是显著的,而且都是正

向影响,表明江西应该积极有效地利用气候变暖带来的额外热量资源,实现农作物的稳产与增产。整体气候变化对稻谷的影响最小,对小麦和玉米的影响最大,所以江西应继续坚持以稻谷为主的农业种植结构。(2)降水对农作物都有显著负影响,江西南部温度较高,建议引进和培育耐高温、耐涝的稻谷、小麦和玉米等新品种,趋利避害。(3)改进田间管理技术。随着气温的持续变暖,降水量波动和日照时长波动将增大,江西农业生产也将面临更严峻的挑战,应对极端降水和极端日照最有效的办法就是改进田间管理技术,比如优化农田排灌设施等。

参考文献:

- [1] Acemoglu D, Aghion P, Bursztyn L, et al. The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 2012, 102(1): 131-166.
- [2] 曾志勇. 气候变化对水稻生产影响的研究综述[J]. *东北农业科学*, 2021, 46(1): 89-93.
- [3] 邱美娟, 王冬妮, 王美玉, 等. 近35年吉林省玉米气候适宜度及其变化[J]. *东北农业科学*, 2019, 44(1): 70-78.
- [4] 王丽伟, 邱美娟, 邱译萱, 等. 基于气候适宜度指数的吉林省春玉米单产预报研究[J]. *东北农业科学*, 2020, 45(1): 68-72.
- [5] 王 萍, 李秀芬, 姜丽霞, 等. 气候变化背景下黑龙江省主栽作物稳产类型区划[J]. *东北农业科学*, 2019, 44(4): 85-88.
- [6] 曹大宇, 陈昭玖, 蔡 波. 气候变化对江西水稻种植模式的影响—基于鄱阳湖地区村级数据的实证分析[J]. *生态经济*, 2015, 31(11): 56-59, 69.
- [7] 吴珊珊, 王怀清, 黄彩婷. 气候变化对江西省双季稻生产的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(2): 207-215.
- [8] 付莲莲, 朱红根, 周曙东. 江西省气候变化的特征及其对水稻产量的贡献—基于“气候—经济”模型[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(4): 590-598.
- [9] 吕伟生, 曾勇军, 石庆华, 等. 近30年江西双季稻安全生长期及温光资源变化[J]. *中国水稻科学*, 2016, 30(3): 323-334.
- [10] 俞书傲. 气候变化对农作物生产的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [11] 刘 昌, 张红日, 赵相伟, 等. 山东省气候变化及其对冬小麦—夏玉米产量的影响[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(3): 379-384.
- [12] 白 帆, 杨晓光, 刘志娟, 等. 气候变化背景下播期对东北三省春玉米产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2020, 28(4): 480-491.
- [13] 冯 琳, 庞玉亭, 钟 琪, 等. 1980~2016年气候变化对湖南省农业产量的影响[J]. *资源科学*, 2019, 41(3): 582-590.
- [14] 宣守丽, 石春林, 刘 杨, 等. 自然环境高温对长江中下游地区中稻结实率的影响及模拟[J]. *气象与环境科学*, 2017, 40(1): 73-77.

(责任编辑:刘洪霞)