

引用格式: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. [Feng L, Pang Y T, Zhong Q, et al. Impacts of climate variability on crop yields in Hunan Province during 1980-2016[J]. *Resources Science*, 2019, 41(3): 582-590.] DOI: 10.18402/resci.2019.03.15

# 1980—2016年气候变化对湖南省农业产量的影响

冯琳, 庞玉亭, 钟琪, 张斌斌, 陈哲祺, 王铜

(中国人民大学环境学院, 北京100872)

**摘要:**全球气候变化背景下,农作物生产对气象条件的响应程度受到普遍关注。本文基于湖南省官方发布的1980—2016年气象和农业数据,运用多种统计方法,分析了湖南省气候、产量变化特征以及气候因素对高、中、低产区农作物产量的影响。结果表明:①1980—2016年,湖南省年均气温以 $0.39^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著上升,年均降水量和年均日照时数有所减少,但趋势不显著。气温、降水、日照普遍存在突变现象。②4种主要粮食作物的单产均呈上升趋势,上升速率大小顺序为:玉米( $0.122\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )>大豆( $0.040\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )>小麦( $0.039\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )>稻谷( $0.028\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )。稻谷、小麦、玉米、大豆分别有0、9、19、11个气候丰年,1、5、2、4个气候歉年。③年均气温对中产区稻谷的气候产量有显著负效应。年均降水量对低产区稻谷、小麦的气候产量有显著负效应。年均日照时数对中产区玉米的气候产量,以及低产区稻谷、小麦、玉米的气候产量均有显著正效应。建议高产区进一步优化农业种植结构和种植制度,中低产区可引进和培育耐高温、耐涝的稻谷、小麦、玉米新品种,并适当调整播期。

**关键词:**气候变化;农业产量;多元线性回归;湖南省

DOI: 10.18402/resci.2019.03.15

## 1 引言

全球气候变化会导致农业生产的不稳定性增加,从而对农业生产的规模和时空布局产生潜在影响<sup>[1-3]</sup>。近一个世纪以来,中国年平均气温升高了 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ <sup>[4]</sup>。各地区热量资源普遍增加,日照资源减少,降水资源呈现不规律的变化,并具有明显的地域性特征<sup>[5-8]</sup>。在此背景下,基于地区角度研究农业生产对气候资源变化的响应具有重要的现实意义。

气候变化对地区农业生产影响的研究方法大体可分为3类:一是田间试验/环境控制实验法,即通过实验、试验方法寻找气候变化特征与农田作物管理实践之间的相关关系,以及气候变化对农业生产影响的机理<sup>[9]</sup>;二是数值模拟预测法,运用计量经济手段,在生产函数模型中加入气象变量<sup>[10]</sup>,或者结合农作物模型,利用全球气候模式(Global Climate Model, GCM)、区域气候模式(Regional Climate Model, RCM)等预测不同气候变化情景对作物产量

的影响<sup>[11-14]</sup>;三是利用已有的统计数据,建立气象要素与农作物产量的关联矩阵,定量探讨作物产量对气候变化的响应规律<sup>[15]</sup>。通过这些方法,学者们获得了许多有价值的发现。例如,气温对西南、华南、华东和华中地区稻谷产量均有负影响;降水变化对华南、华中和华东地区稻谷产量有负作用,但对西南地区有正影响<sup>[6]</sup>。西北地区农业产量受气温上升的不利影响最大;降水增加对北方所有地区均有正面影响<sup>[7]</sup>。气候变化导致东北地区玉米播种期和播种范围增加<sup>[8]</sup>。海河流域冬季气温的显著上升使冬小麦种植北界在近50年间向北移动大约70 km;  $\text{CO}_2$ 浓度增加、气温、降水及日照时数变化对小麦产量的影响分别为11%, 0.7%, -0.2%和-6.5%;气候变化使夏玉米产量每10年下降0.6%~3.8%<sup>[16]</sup>。

湖南省素有“九州粮仓”的盛誉,分布有多个重要的商品粮基地。以往对湖南农业响应气候变化的研究,主要集中在农业气候资源的变化特征及其

收稿日期:2018-07-27 修订日期:2018-10-01

基金项目:中国人民大学2019年度“中央高校建设世界一流大学(学科)和特色发展引导专项资金项目”。

作者简介:冯琳,女,江苏泰州人,博士,副教授,主要研究领域为资源与环境管理。E-mail: feng.lin@163.com

2019年3月

对种植结构的影响方面<sup>[17]</sup>。结合农作物产量的响应,特别是分高中低产区考虑的研究尚存在空白。基于此,本文将年均气温、年均降水量、年均日照时数选作气候指标<sup>[18]</sup>,利用5a滑动平均法和Mann-Kendall法<sup>[19]</sup>,分析1980—2016年湖南省的气候变化趋势,进行突变特征检验。并选取稻谷、小麦、玉米、大豆等4种主要农作物,分解其气候产量,进而探讨气候因素对高、中、低产区农作物产量的影响,研究结果可为湖南省及邻近区域未来的农业发展的趋利避害提供科学参考。

## 2 研究方法

### 2.1 区域概况

湖南省地处东经108°47'E-114°15'E、北纬24°38'N-30°08'N,位于长江中游,大陆性亚热带季风湿润气候,光、热、水资源丰富,年内、年际气温、降水变化较大。各地年平均气温一般为16~19℃,年平均降雨量1200~1700 mm,年日照时数1400~2200 h<sup>[20]</sup>。下辖14个地州市,耕地面积878.3万hm<sup>2</sup>,2016年粮食产量居全国第7位,稻谷产量居全国第1位。

### 2.2 数据来源

本文的气象数据来自于《湖南气象志》、《中国气象年鉴》、历年的《湖南统计年鉴》和湖南省气候公报。农业数据来源于历年的《湖南统计年鉴》和《湖南农村统计年鉴》<sup>[20-23]</sup>。

### 2.3 计算方法

#### 2.3.1 农作物单位产量与趋势产量

长时间序列的作物产量与气候因子关系的统计研究中,一般把作物的产量分解为趋势产量、气候产量和随机误差3部分<sup>[24]</sup>。即:

$$Y = X_1 + X_2 + X_e \quad (1)$$

式中: $Y$ 为农作物实际单产; $X_1$ 为趋势产量,即时间序列下,技术进步、社会经济发展促使农作物单产呈现一种稳定而缓慢的增长趋势单产; $X_2$ 为气候产量,指趋势产量以外,受气候条件影响波动的单产; $X_e$ 为随机波动产量,因影响相对较小,可忽略不计。

为定量分析气候因素对农作物产量的影响,分离气候产量得到:

$$X_2 = Y - X_1 \quad (2)$$

式中: $Y$ 用收集到的单位面积产量数据直接表示; $X_1$ 用5a滑动平均方法模拟趋势产量表示。

相对气候产量能较直观地表示气候变化对农作物生长的影响<sup>[25]</sup>,公式如下:

$$X_3 = \frac{X_2}{X_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $X_1$ 和 $X_2$ 分别代表农作物的趋势产量和气候产量; $X_3$ 为相对气候产量<sup>[26]</sup>。相对气候产量大于10%的年份被定义为气候丰年,表示气候变化利于农作物生长;小于-10%的被定义为气候歉年,表示气候变化不利于农作物生长。

#### 2.3.2 多元线性回归模型

模型计算使用SPSS21.0软件。多元线性回归数学模型为:

$$y_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}x_{1i} + \beta_{2i}x_{2i} + \beta_{3i}x_{3i} + \varepsilon_i \quad (4)$$

式中: $y_i$ 为因变量,即第*i*年的某农作物气候产量; $x_{1i}$ 、 $x_{2i}$ 、 $x_{3i}$ 为自变量,分别为第*i*年的年均气温、年均降水量、年均日照时数; $\beta_{0i}$ 为第*i*年的常数项, $\varepsilon_i$ 为第*i*年的误差项; $\beta_{1i}$ 、 $\beta_{2i}$ 、 $\beta_{3i}$ 为第*i*年各自变量的回归系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 气候变化特征与检验

由图1-a可知,1980—2016年,湖南省年均气温在16.3~19.6℃之间波动,平均值为17.6℃,最高年均气温(2007年)比最低年均气温(1984年)高3.33℃。约有48%的年份气温变化率为正,37年间年均气温整体上升趋势显著,拟合曲线的斜率为0.39℃/10a( $Sig=0.000$ )。Mann-Kendall检验(图1-b)显示,1998年后,湖南省升温趋势超过显著性水平0.05临界线,说明该阶段升温趋势显著。根据UF和UB曲线在临界范围内的相交点,可确定湖南省气温在1995年存在突变现象。

由图1-c可知,1980—2016年,湖南省年降水量最高为1897 mm(2002年),最低为967.4 mm(2011年)。20世纪80、90年代,年均降水量先减后增,其中1980—1986年减速为51.46 mm/a( $Sig=0.00$ ),1987-1998年增速为26.94 mm/a( $Sig=0.00$ )。进入21世纪之后,年均降水量呈减少趋势,减速为15.65 mm/a( $Sig=0.000$ )。2011年之后,年均降水量又有所上升。Mann-Kendall检验(图1-d)表明,约33%的年份检验统计量大于0,但是不存在年均降水量显著上升的年份。1984—1993年及2007—2016年均降水量呈下降趋势。在临界值区域内,UK与UB

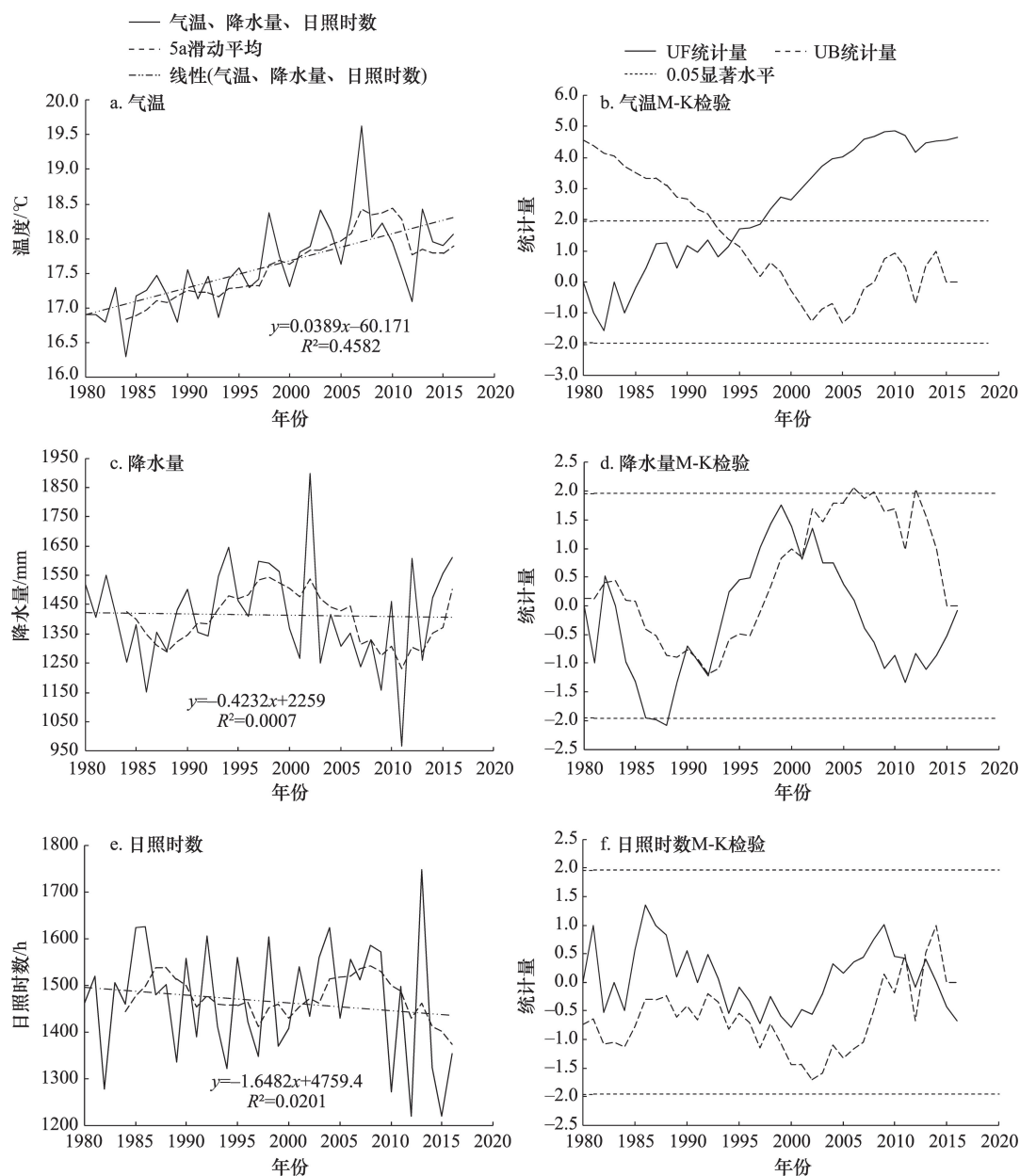


图1 1980—2016年湖南省气候变化特征与检验

Figure 1 Characteristics of climate variability and Mann-Kendall test in Hunan Province, 1980-2016

曲线存在交点,可确定降水在1982、1990、2001年存在突变现象。

由图1-e可知,1980—2016年,湖南省年均日照时数在1200~1700 h范围内波动,平均值为1466.27 h,最高年均日照时数(2013年)比最低年均日照时数(2012年)多527.21 h。约49%的年份日照时数年变化率为负,但37年间年均日照时数整体下降趋势并不明显,拟合曲线的倾斜率为 $-16.48 \text{ h}/10 \text{ a}$  ( $\text{Sig}=0.302$ )。Mann-Kendall检验(图1-f)显示,除1985—

1993年、2004—2015年年均日照时数有所上升外,其他年份的日照时数基本呈减少趋势,但不显著 ( $\text{Sig}=0.832$ )。根据临界值范围内的交点,日照时数的突变现象发生在2011年和2013年。

### 3.2 农作物产量变化特征

1980—2016年间,湖南省稻谷、小麦、玉米和大豆的单产和趋势产量如图2所示。尽管4种农作物的年单产和趋势产量在时间序列上的波动特征上各不相同,但它们总体上呈增长的趋势 ( $\text{Sig}=$

2019年3月

0.000)。

4种农作物的气候产量值与相对气候产量如图3所示,变化趋势各异,且均不显著(稻谷: $Sig=0.707$ ;玉米: $Sig=0.795$ ;大豆: $Sig=0.957$ ;小麦: $Sig=0.614$ )。除大豆的气候产量变化幅度较小外,其他3种作物的气候产量变化幅度均较大,玉米的气候产量振幅最大。各农作物的产量特征统计如表1。

### 3.3 气候变化对各产区农作物产量影响

#### 3.3.1 高中低产区分类

1980—2016年,湖南各州市4种主要农作物每年的单产水平有明显的地域差异。为尽量减少这种地域差异对气候变化农业影响分析的干扰,本文拟将湖南省14个州市划分为高、中、低3个产区分别进行讨论。考虑到近37年里湖南的稻谷总产量在4种主要粮食作物总产量中占比高达90%,且稻谷单产水平最高,分别是小麦的2.9倍、大豆的3.4倍、玉米的1.6倍,因此,本文以1980—2016年湖南14个州市的518个稻谷单产数据为基础,采用K-

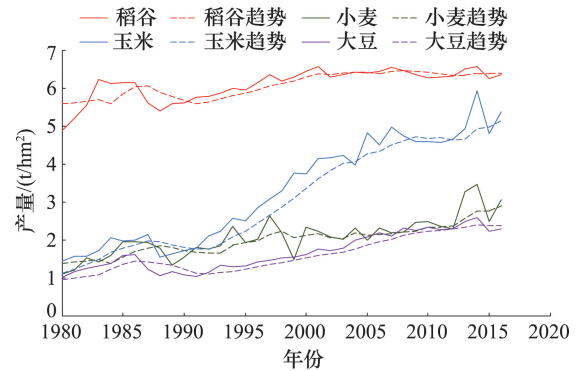


图2 1980—2016年湖南省4种谷物的单产与趋势产量

Figure 2 Per unit area yield and trend yield of four crops in Hunan Province, 1980-2016

means 聚类方法(聚类数目设为3),经过多次迭代计算,得到高产区(湘潭、娄底、长沙、株洲)、中产区(邵阳、郴州、张家界、怀化、衡阳)和低产区(吉首、永州、常德、岳阳、益阳)。该分类结果与邓文等以粮食生产特征、功能定位、主攻方向等为依据,所划

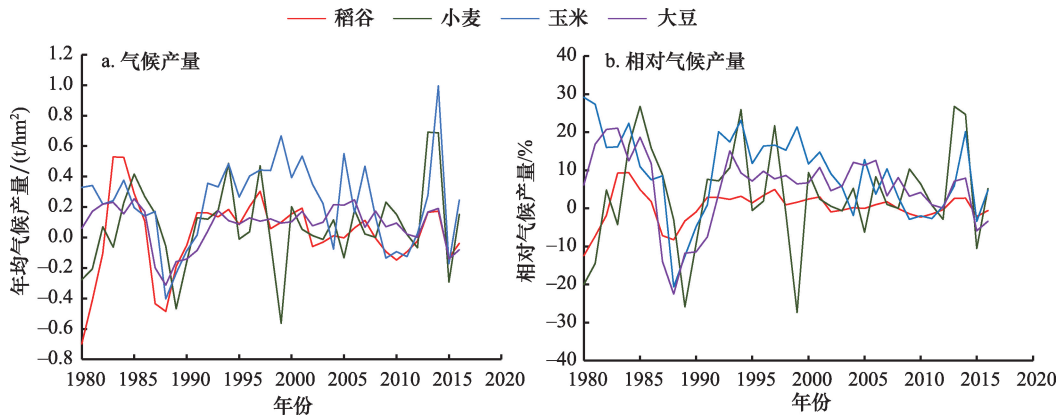


图3 1980—2016年湖南省4种农作物的气候产量与相对气候产量

Figure 3 Climatic yield variation and relative climatic yield variation of four crops in Hunan Province, 1980-2016

表1 1980—2016年湖南省4种农作物的产量特征

Table 1 Production characteristics of four crops in Hunan Province, 1980-2016

	稻谷	小麦	玉米	大豆
单产最小值/(t/hm <sup>2</sup> )	4.903(1980年)	1.108(1980年)	1.454(1980年)	1.034(1980年)
单产最大值/(t/hm <sup>2</sup> )	6.573(2001年)	3.469(2014年)	5.939(2014年)	2.596(2014年)
单产年均增加值/(t/hm <sup>2</sup> )	0.028	0.039	0.122	0.040
趋势产量年均值/(t/hm <sup>2</sup> )	6.090	2.017	3.089	1.616
气候产量最大值/(t/hm <sup>2</sup> )	0.529(1983年)	0.691(2013年)	0.995(2014年)	0.254(1985年)
气候产量最小值/(t/hm <sup>2</sup> )	-0.698(1980年)	-0.564(1999年)	-0.404(1988年)	-0.312(1988年)
气候丰年/个	0	9	19	11
气候歉年/个	1	5	2	4



分出的湖南省粮食带基本一致<sup>[27]</sup>。

1980—2016年,湖南的稻谷种植面积在341~437万hm<sup>2</sup>之间波动,随时间呈升—降—升趋势。稻谷类型分早稻(籼稻)、中稻(籼型杂交稻)与一季晚稻、双季晚稻(籼稻为主、少量粳稻)3种,其产量比为36.92:19.44:43.64。小麦的种植面积逐年下降,变化区间为2.1~22.2万hm<sup>2</sup>。玉米的种植面积逐年上升,变化区间为10.2~35.3万hm<sup>2</sup>。大豆的种植面积在8.9~21.6万hm<sup>2</sup>间波动,呈先升后降趋势。

### 3.3.2 气候变化的影响分析

不同产区农作物气候产量的多元线性回归分析结果如下。

#### (1) 高产区

表2结果显示,气温、降水、日照对于高产区稻谷、小麦、玉米、大豆4种作物的气候产量影响均不显著。可能的原因在于:气温是影响喜温作物稻谷生长发育的最重要因素之一,对长江中下游而言,高温主要影响的是中稻,对早稻的影响较小<sup>[9]</sup>。高产区4个州市位于湘中,早稻产量约占44%,晚稻约占50%,中稻只占6%。早稻受气温影响小,中稻的占比低,而湘中的晚稻产量与气温相关性并不显著<sup>[28]</sup>,因此,高产区稻谷的生长总体上受气温影响较小。其他作物对气温变化的响应不如稻谷敏感<sup>[14]</sup>,所以气温对高产区农作物气候产量的影响整体表现得不显著。早稻在生殖生长期,若遇上阴雨少日照天气,开花率、受精率和结实率均会明显降低<sup>[29]</sup>,中稻与晚稻亦然。近37年来,各州市降水变化值,

长沙为-33.14 mm/10 a,株州为38.49 mm/10 a,湘潭为36.88 mm/10 a,娄底为-42.99 mm/10 a。4个州市的降水变化2正2负,所引起的稻谷降低与增加大致相抵,其他作物也情况类似。所以,降水对高产区农作物气候产量的影响整体表现得不显著。充足的日照有利于农作物的生长。在时间序列上,湘潭、娄底的日照数呈下降趋势,长沙、株州的日照数呈上升趋势。从数值上看,这种下降与上升基本相抵,所以日照数的变化对高产区4种作物的气候产量影响较小。

#### (2) 中产区

表3结果显示,气温、降水以及日照对于中产区小麦和大豆的气候产量影响不显著,但气温对于中产区稻谷气候产量有显著负效应,日照时数对于中产区玉米气候产量有显著正效应。造成这一结果的原因为:中产区年均气温高于湖南平均水平,其中郴州(18.7℃)和衡阳(18.6℃)分别排名全省第一、第二。除了张家界,该产区其他州市的年均气温在近37年间波动上升。已有的研究表明,湘中、湘南的晚稻产量与气温相关性不显著<sup>[28]</sup>,所以邵阳—怀化(湘中)、郴州—衡阳(湘南)的晚稻对气温上升的响应不明显。虽然湘北的晚稻产量与气温呈正相关<sup>[28]</sup>,但由于张家界(湘北山区)的气温在近37年间并未明显上升,所以当地的晚稻产量受气温影响也比较小。整个中产区,早稻的产量约占35%,晚稻约占40%,中稻约占25%。高温会抑制中稻分蘖,阻碍其花粉成熟,最终影响中稻结实率<sup>[9,28]</sup>。由于该产

表2 高产区农作物气候产量多元线性回归结果

Table 2 Multiple linear regression results of crop climatic yield in high yield areas

种类	变量	偏回归系数 <i>B</i>	标准误差 <i>SE</i>	<i>t</i> 检验值	<i>P</i> 值	膨胀因子 <i>VIF</i>
稻谷	年均气温/℃	81.68	127.45	0.86	0.379	1.209
	年均降水量/100 mm	1.87	2.35	2.48	0.113	1.161
	年均日照时数/100 h	0.44	0.54	0.60	0.550	1.142
小麦	年均气温/℃	15.65	30.67	0.71	0.402	1.232
	年均降水量/100 mm	11.13	18.45	0.55	0.144	1.123
	年均日照时数/100 h	1.52	35.88	0.11	0.652	1.344
玉米	年均气温/℃	-81.42	97.55	-0.69	0.243	1.252
	年均降水量/100 mm	1.21	23.47	0.78	0.459	1.168
	年均日照时数/100 h	15.51	30.23	0.51	0.429	1.317
大豆	年均气温/℃	13.74	25.42	0.63	0.169	1.263
	年均降水量/100 mm	-0.92	4.68	-0.15	0.298	1.165
	年均日照时数/100 h	5.04	6.49	0.42	0.168	1.284

表3 中产区农作物气候产量多元线性回归结果

Table 3 Multiple linear regression results of crop climatic yield in medium yield areas

种类	变量	偏回归系数 <i>B</i>	标准误差 <i>SE</i>	<i>t</i> 检验值	<i>P</i> 值	膨胀因子 <i>VIF</i>
稻谷	年均气温/℃	-48.22**	17.35	-2.404	0.012	1.026
	年均降水量/100 mm	5.04	6.23	0.756	0.307	1.146
	年均日照时数/100 h	11.71	8.66	1.089	0.153	1.008
小麦	年均气温/℃	-31.03	29.75	-0.708	0.287	1.021
	年均降水量/100 mm	-4.02	10.54	-0.301	0.604	1.156
	年均日照时数/100 h	2.21	17.65	-0.108	0.643	1.106
玉米	年均气温/℃	9.55	43.63	0.168	0.685	1.022
	年均降水量/100 mm	6.07	19.87	0.206	0.543	1.087
	年均日照时数/100 h	62.76**	29.77	2.074	0.012	1.176
大豆	年均气温/℃	17.98	11.47	1.107	0.208	1.021
	年均降水量/100 mm	2.05	4.33	0.205	0.525	1.145
	年均日照时数/100 h	4.49	7.04	0.476	0.289	1.125

\*\*、\*分别表示通过置信水平为0.05、0.1的显著性检验。

区早稻<sup>[9]</sup>、晚稻受高温的影响都不大,所以气温对于稻谷气候产量呈显著的负效应,其原因很可能为该产区中稻比例的提高。玉米作为高光效的C4植物,需要充足的光照以制造和积累光合产物<sup>[30]</sup>。中产区日照相对短缺,边际日照时数增加有助于玉米边际气候产量增加。

### (3)低产区

表4结果显示,降水对低产区稻谷和小麦的气候产量有显著负效应,日照时数对低产区稻谷、小麦和玉米的气候产量均有显著正效应。根据已有的研究,造成这些结果的可能原因为:稻谷开花期

和乳熟后期的阴雨天气增加将会导致稻谷空秕率增加,产量下降<sup>[9]</sup>。小麦在不同生长阶段对于降水的需求量不同,播种—分蘖期对降水需求量多,抽穗—成熟期对降水需求量少<sup>[31,32]</sup>。低产区的5个州市中,近37年来益阳的年均降水量1504.3 mm,为全省最高;永州、常德、岳阳的年均降水量位于中等;吉首的年均降水量上升速率全省最大,为53.47 mm/10 a。低产区充沛和过多的降水对稻谷和小麦的生长反而起了抑制作用。小麦是长日照作物,充足的日照能够有效地促进小麦籽粒干物质合成<sup>[33]</sup>,使小麦能抽穗结实。玉米是高光效植物,稻谷是短

表4 低产区农作物气候产量多元线性回归结果

Table 4 Multiple linear regression results of crop climatic yield in low yield areas

种类	变量	偏回归系数 <i>B</i>	标准误差 <i>SE</i>	<i>t</i> 检验值	<i>P</i> 值	膨胀因子 <i>VIF</i>
稻谷	年均气温/℃	-10.16	14.66	-0.420	0.368	1.012
	年均降水量/100 mm	-12.44*	5.08	-1.304	0.051	1.053
	年均日照时数/100 h	15.03*	7.43	1.6013	0.052	1.060
小麦	年均气温/℃	-20.02	41.22	-0.391	0.503	1.012
	年均降水量/100 mm	-30.10**	11.47	-1.074	0.032	1.055
	年均日照时数/100 h	55.23**	17.33	2.004	0.003	1.057
玉米	年均气温/℃	-98.66	40.12	-1.851	0.176	1.015
	年均降水量/100 mm	-12.56	18.03	-0.573	0.289	1.048
	年均日照时数/100 h	50.88**	20.13	2.014	0.003	1.057
大豆	年均气温/℃	-11.44	11.23	-0.925	0.278	1.015
	年均降水量/100 mm	-5.69	4.13	-0.921	0.207	1.053
	年均日照时数/100 h	2.08	4.66	0.359	0.406	1.059

\*\*、\*分别表示通过置信水平为0.05、0.1的显著性检验。

日照作物,它们的产量与生育期内的日照量呈正相关<sup>[30,34,35]</sup>。低产区日照充足,近37年内其日照时数高于湖南省均值并呈上升趋势,所以这3种作物的产量也随之增加。

## 4 讨论

本文表明,1980—2016年湖南省年均气温以 $0.39^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著上升,年均降水量和年均日照时数波动下降。这与廖玉芳<sup>[17]</sup>、陆魁东<sup>[33]</sup>等学者的结论基本一致。气温对湖南中产区稻谷的气候产量有显著负效应,这与周曙东等提出的气温对西南、华南、华东和华中地区稻谷产量均有负影响的结论<sup>[6]</sup>相吻合。本文的不足之处为:①季、月的气象数据可更加细致地分析气候变化对农作物生长的影响,但由于资料获取的局限性,本文仅利用年均数据进行分析,结果不够精确。②随着技术和经济的不断发展,社会因素对农业生产的影响越来越大。本文仅利用5a滑动平均法模拟农作物趋势产量,存在着误差。③本文未考虑全球气候变暖背景下 $\text{CO}_2$ 浓度的增加对农作物产量的影响。后续研究中,需对上述问题作进一步考察。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

(1)湖南省近37年年均气温波动上升,每10年平均增温约 $0.39^{\circ}\text{C}$ 。年均降水量表现为下降(1980—1985年)—上升(1986—1999年)—下降(2000—2011年)—上升(2012—2016年)的波浪型变化趋势。年均日照时数在1200~1700h之间波动。

(2)湖南省4种主要粮食作物的单产均呈上升趋势,上升速率从大到小顺序为:玉米( $0.122\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )>大豆( $0.040\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )>小麦( $0.039\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )>稻谷( $0.028\text{ t}/\text{hm}^2/\text{a}$ )。各农作物气候产量变化趋势各异。根据相对气候产量,小麦有9个气候丰年,5个气候歉年;玉米有19个气候丰年,2个气候歉年;大豆有11个气候丰年,4个气候歉年。

(3)湖南省高产区,年均气温、年均降水量、年均日照量对稻谷、小麦、玉米、大豆的气候产量没有显著性影响。中产区,年均气温对稻谷气候产量有显著负效应、年均日照量对玉米气候产量有显著正效应。低产区,年均降水量对稻谷、小麦的气候产量有显著负效应;年均日照量对稻谷、小麦、玉米的气候产量有显著正效应。

### 5.2 建议

(1)湖南省高产区农作物受气候变化影响很

小。建议充分发挥该区域的地利—人和禀赋优势,进一步优化农业种植结构和种植制度,确保农业健康稳定地发展。

(2)湖南省中产区及低产区农作物相对容易受气候变化的影响。建议该区域引进和培育耐高温、耐涝的稻谷、小麦新品种。并可适当调整稻谷、小麦的播期,趋利避害,改变其生育期内的温光水配置,以利于提高产量。

## 参考文献(References):

- [1] Molua E L, Molua E L. The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2016, 6(9): 1–33.
- [2] 钱凤魁, 王文涛, 刘燕华. 农业领域应对气候变化的适应措施与对策[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(5): 19–24. [Qian F K, Wang W T, Liu Y H. Research of adaptive countermeasures of addressing climate change in agriculture field[J]. *China Population Resources and Environment*, 2014, 24(5): 19–24.]
- [3] 郭建平. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展[J]. 应用气象学报, 2015, 26(1): 1–11. [Guo J P. Advance in impacts of climate change on agricultural production in China[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2015, 26(1): 1–11.]
- [4] 宁晓菊, 秦耀辰, 崔耀平, 等. 60年来中国农业水热气候条件的时空变化[J]. 地理学报, 2015, 70(3): 364–379. [Ning X J, Qin Y C, Cui Y P, et al. The spatio-temporal change of agricultural hydrothermal conditions in China from 1951 to 2010[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(3): 364–379.]
- [5] Piao S L, Ciais P, Huang Y, et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China[J]. *Nature*, 2010, 467: 43–51.
- [6] 周曙东, 朱红根. 气候变化对中国南方稻谷产量的经济影响极其适应策略[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(10): 152–157. [Zhou S D, Zhu H G. Economic analysis of climate change impact on the rice yield in Southern China and its adaptive strategy[J]. *China Population Resources and Environment*, 2010, 20(10): 152–157.]
- [7] 孙华, 何茂萍, 胡明成. 全球变化背景下气候变暖对中国农业生产的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(7): 51–57. [Sun H, He M P, Hu M C. Impact of global climatic warming on agricultural production in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2015, 36(7): 51–57.]
- [8] 纪瑞鹏, 张玉书, 姜丽霞, 等. 气候变化对东北地区玉米生产的影响[J]. 地理研究, 2012, 31(2): 290–298. [Ji R P, Zhang Y S, Jiang L X, et al. Effect of climate change on maize production in North-east China[J]. *Geographical Research*, 2012, 31(2): 290–298.]
- [9] 赵海燕, 姚凤梅, 张勇, 等. 长江中下游稻谷开花灌浆期气象要素与结实率和粒重的相关性分析[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1765–1771. [Zhao H Y, Yao F M, Zhang Y, et al. Correlation analysis of rice seed setting rate and weight of 1000-grain and agro-meteorology over the middle and lower reaches of the Yang-

2019年3月

- tz River[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(9): 1765–1771.]
- [10] 侯麟科, 仇焕广, 汪阳洁, 等. 气候变化对我国农业生产的影响: 基于多投入多产出生产函数的分析[J]. *农业技术经济*, 2015, (3): 4–14. [Hou L K, Chou H Z, Wang Y J, *et al.* Qihou-bianhua dui Woguo nongyeshengchan de yingxiang: Jiyu duotouru duochanchu shengchanhanshu de fenxi[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015, (3): 4–14.]
- [11] Molua E L, Molua E L. The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2016, 6(9): 1–33.
- [12] Howden S M, Soussana J F, Tubiello F N, *et al.* Adapting agriculture to climate change[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(50): 19686–19690.
- [13] 熊伟, 林而达, 蒋金荷, 等. 中国粮食生产的综合影响因素分析[J]. *地理学报*, 2010, 65(4): 397–406. [Xiong W, Lin E D, Jiang J H, *et al.* An integrated analysis of impact factors in determining China's future grain production[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(4): 397–406.]
- [14] 钟章奇, 王铮, 夏海斌, 等. 全球气候变化下中国农业生产潜力的空间演变[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(12): 2018–2032. [Zhong Z Q, Wang Z, Xia H W, *et al.* Temporal and spatial variation of the potential agricultural productivity of China under global climate change[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(12): 2018–2032.]
- [15] 张强, 邓振镭, 赵映东, 等. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 1210–1218. [Zhang Q, Deng Z Y, Zhao Y D, *et al.* The impacts of global climatic change on the agriculture in Northwest China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1210–1218.]
- [16] 胡实, 莫兴国, 林忠辉. 气候变化对海河流域主要作物物候和产量影响[J]. *地理研究*, 2014, 33(1): 3–12. [Hu S, Mo X G, Lin Z H. The contribution of climate change to the crop phenology and yield in Haihe River Basin[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(1): 3–12.]
- [17] 廖玉芳, 彭嘉栋, 崔巍. 湖南农业气候资源对全球气候变化的响应分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(8): 287–293. [Liao Y F, Peng J D, Cui W. Response analysis of Hunan agricultural climate resources to global climate change[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(8): 287–293.]
- [18] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 等. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制[J]. *气象学报*, 2004, 62(5): 634–646. [Chen L X, Zhou X J, Li W L, *et al.* Characteristics of the climate change and its formation mechanism in China in last 80 years[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 62(5): 634–646.]
- [19] 张翀, 李晶, 任志远. 西北地区1962年至2000年降水量变化的时空特征分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(12): 2298–2304. [Zhang C, Li J, Ren Z Y. Spatial and temporal characteristics of precipitation changes from 1962 to 2000 in Northwestern China[J]. *Resources Science*, 2010, 32(12): 2298–2304.]
- [20] 湖南省气象志编纂委员会. 湖南省气象志[M]. 北京: 气象出版社, 2008. [Hunan Meteorological Compilation Committee. Hunan Meteorological [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008.]
- [21] 中国气象年鉴编辑委员会. 1986–2015年中国气象年鉴[M]. 北京: 气象出版社, 2016. [China Meteorological Yearbook Editorial Board. 1986–2015 China Meteorological Yearbook[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2016.]
- [22] 湖南省统计局. 1987–2015年湖南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [Hunan Statistics Bureau. 1987–2015 Hunan Meteorological Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [23] 湖南省统计局. 1987–2015年湖南农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [Hunan Statistics Bureau. 1987–2015 Hunan Rural Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [24] 房世波. 分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(6): 13–18. [Fang S B. Exploration of method for discrimination between trend crop yield and climatic fluctuant yield [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011, 20(6): 13–18.]
- [25] 郭连云, 赵年武, 田辉春. 气象影响因子对高寒针茅草原牧草产量的影响[J]. *草业科学*, 2010, 27(10): 79–84. [Guo L Y, Zhao N W, Tian H C. Effects of climatic factors on pasture yield of alpine Stipa steppe[J]. *Pratacultural Science*, 2010, 27(10): 79–84.]
- [26] 陈远翔. 洱源县农作物产量对气候变化响应的敏感性分析[J]. *环境科学导刊*, 2016, 35(2): 16–20. [Chen Y X. Analysis of sensitivity of crop yields to climate change function in Eryuan County [J]. *Environmental Science Survey*, 2016, 35(2): 16–20.]
- [27] 邓文. 湖南粮食生产区域布局与结构优化战略[A]. 中国农业资源与区划学会. 2014年中国农业资源与区划学会学术年会论文集[C]. 北京: 中国农业资源与区划学会, 2014. [Deng W. The Grain Production Regional Layout and Structural Optimization Strategy in Hunan[A]. Chinese Society of Agricultural Resources and Regional Planning. Conference proceedings of 2014 Chinese Society of Agricultural Resources and Regional Planning[C]. Beijing: Chinese Society of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014.]
- [28] 匡勇, 郑华斌, 黄璜. 气温变化对湖南稻谷产量的影响[J]. *作物研究*, 2011, 25(6): 538–543. [Kuang Y, Zheng H B, Huang H. Effects of temperature on rice yield[J]. *Crop Research*, 2011, 25(6): 538–543.]
- [29] 颜盛. 气象因子对长沙早稻生育与产量的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015. [Yan S. Influence of Meteorological Factors on Growth and Yield of Rice in Early Season in Changsha Region [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015.]
- [30] 王璞. 农作物概论[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004. [Wang P. Introduction to Crops[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2004.]
- [31] 赵荣, 张存岭, 陈若礼, 等. 影响淮北地区小麦生产的降水因子分析[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(12): 117–120. [Zhao R, Zhang C L, Chen R L, *et al.* Influence the precipitation factor analysis of wheat production of area of Huaibei [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(12): 117–120.]
- [32] 刘锋, 孙本普, 李秀云. 不同栽培条件对高产冬小麦生长发育的影响研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(26): 8146–8151. [Liu F,



- Sun B P, Li X Y. Effects of different cultivation conditions on growth and development of high yield winter wheat[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(26): 8146–8151.]
- [33] 仝文伟, 查菲娜, 王其英, 等. 气候变化对河南省小麦产量影响分析[J]. 河南科学, 2009, 27(12): 1546–1549. [Tong W W, Zha F N, Wang Q Y, *et al.* Analysis of the influences on wheat yield by climate change in Henan [J]. *Henan Science*, 2009, 27(12): 1546–1549. ]
- [34] 陆魁东, 屈右铭, 张超, 等. 湖南气候变化对农作物生产潜力的响应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 33(1): 9–13. [Lu K D, Qu Y M, Zhang C, *et al.* Response of climate change to crop production potential in Hunan Province [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2007, 33(1): 9–13. ]
- [35] 曹海珺, 曹海鑫, 田奉俊, 等. 日照时数与稻谷产量性状的相关分析[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(19): 48–49. [Cao H J, Cao H X, Tian F J, *et al.* Correlation analysis between sunshine hours and rice yield traits[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2012, 18(19): 48–49. ]

## Impacts of climate variability on crop yields in Hunan Province during 1980–2016

FENG Lin, PANG Yuting, ZHONG Qi, ZHANG Binbin, CHEN Zheqi, WANG Tong

(School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract:** Under the background of global climate change, the response of crop production to meteorological conditions and climate variability has attracted widespread attention. Based on the official meteorological and agricultural production data issued by Hunan Province from 1980 to 2016, we analyzed the change characteristics of local climate factors and crop yields, and the influences of climate factors on crop output in high, medium and low production areas with a variety of statistical methods. The results show that: (1) In 1980-2016, annual average temperature in Hunan Province increased significantly at the rate of 0.39/10 a. Annual average precipitation and sunshine hour decreased but not significantly. There were sudden changes in meteorological factors generally. (2) Per unit yields of four major crops all showed upward trend, with the increase rate ranging from high to low: maize (0.122 t/hm<sup>2</sup>/a) > soybeans (0.040 t/hm<sup>2</sup>/a) > wheat (0.039 t/hm<sup>2</sup>/a) > rice (0.028 t/hm<sup>2</sup>/a). Rice had 0 climate good year; wheat 9 climate good years; maize 19 climate good years; and soybeans 11 climate good years. Rice had 1 climate lean year; wheat 5 climate lean years; maize 2 climate lean years; and soybeans 4 climate lean years. (3) Annual average temperature had a significant negative influence on the climate yield of rice in medium production areas. Annual average precipitation had a significant negative influence on the climate yield of rice and wheat in low production areas. Annual average sunshine hour had a significant positive influence on the climate yield of maize in medium production areas, and rice, wheat and maize in low production areas. Our study suggested that the cropping structure and cropping system could be further optimized in high production area. Meanwhile, improved breeds of rice and wheat resistant to high temperature and waterlogging could be introduced and cultivated in low/medium production areas. Their planting period could also be adjusted appropriately.

**Key words:** climatic variability; crop yield; multiple linear regression; Hunan Province