

气候变化对安徽省淮北地区 夏玉米气象产量的影响

岳伟¹ 陈曦¹ 伍琼¹ 陈金华¹ 蒋跃林² 王晓东¹ 王珍¹¹

(1. 安徽省农业气象中心, 安徽 合肥 230031;

2. 安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230031)

【摘要】: 基于安徽省淮北地区 24 个气象观测站 1961~2018 年逐日气象资料及对应市(县)1961~2014 年夏玉米产量资料, 采用气候倾向率、M-K 突变检验、相关分析、回归分析等方法, 分析了安徽省淮北地区夏玉米生长季太阳总辐射、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、气温日较差、降水量等气候资源时空变化特征及对夏玉米气象产量的影响。结果表明: (1) 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期、营养生长期、并进期、生殖生长期太阳总辐射和日较差均呈极显著减少趋势($P < 0.01$), $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和降水量呈不显著增加趋势; 空间分布上, 太阳总辐射和气温日较差由北向南逐渐减少, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温空间差异小, 降水量总体呈径向分布, 高值区位于淮东北部。(2) 近 58a 安徽省淮北地区夏玉米生长季太阳总辐射和日较差分别在 1981 和 1982 年发生了由多到少的突变, 突变后较突变前分别减少了 $220.1 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 0.7°C ; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、降水量无明显突变点。(3) 降水量是影响淮北地区夏玉米气象产量的主要因子, 并与气象产量呈二次曲线关系; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温对夏玉米气象产量影响为负效应, 其中并进期达显著水平($P < 0.05$); 太阳总辐射和气温日较差影响不显著。气候资源变化对夏玉米气象产量综合影响在全生育期和并进期达到显著水平($P < 0.05$), 在营养生长期达极显著水平($P < 0.01$)。 (4) 安徽省淮北地区在夏玉米种植过程中, 可以通过加强水利基础设施建设, 提升水分调节能力, 提高夏玉米气象产量。

【关键词】: 气候资源 气象产量 夏玉米 淮北地区

【中图分类号】: S162.3 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)02-0407-12

近百年来全球气候正在发生以变暖为主要特征的显著变化, IPCC 第 5 次评估报告指出, 1880~2012 年全球地表平均温度已升高 0.85°C ($0.65^{\circ}\text{C} \sim 1.06^{\circ}\text{C}$)^[1]。1961~2010 年我国平均气温以 $0.275^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速度增长^[2]。气候变暖对农业生态环境、农业生产布局、农作物产量和种植制度等产生了一系列不可忽视的影响。过去几十年, 气候变暖使全球水稻、小麦、玉米和大豆产量分别减产 0.1%、5.5%、3.8%和 1.7%^[3]; 我国南方地区一年二熟区、一年三熟区的界限平均西移 0.2 个经度、北移 0.2 个纬度, 一年三熟区面积扩大、一年二熟区面积缩小, 一年一熟区也稍有缩小^[4]; 全国冬小麦和双季稻种植北界北移, 降水量的减少造成了雨养冬小麦-夏玉米稳产北界向东南方向移动^[5]。

玉米不仅是我国三大粮食作物之一, 也是饲料、发酵工业等重要原料, 在保障国家粮食安全和国民经济发展中具有举足轻

作者简介: 岳伟(1981~), 男, 高级工程师, 主要研究方向为农业气象. E-mail: yuewei925@163.com

蒋跃林, E-mail: jiangyuelin239@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0300905); 安徽省科技攻关项目(1804A07020124)

重的地位^[6,7]。近年来,气候变化对玉米生产的影响已引起众多学者的关注。相关研究表明,气候变暖背景下我国东北地区不同熟性玉米品种可种植面积不断扩大^[8,9],且未来气候情景下,东北三省春玉米不同熟型品种种植北界将不同程度向北移动,在界限敏感区域内中晚熟品种替代早熟品种^[10]。近 30a 华北平原夏玉米全生育期天数呈极显著增加趋势,其中京津冀地区和山东省夏玉米主要生育期有显著延迟趋势,河南省夏玉米主要生育期则显著提前^[11]。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温上升时,黄淮海地区北部的河北与西部的河南的夏玉米产量会随着上升,而东部和南部夏玉米产量将会下降^[12]。

安徽省淮北地区地处黄淮海平原南部,雨热同季,为安徽省优质玉米核心产区,种植面积占全省 70%左右^[13]。由于地处我国南北气候过渡带,气候变化相当敏感^[14]。目前关于淮北地区气候资源的变化多以周年为研究尺度^[15,16],对夏玉米生产的影响多集中于农业气象灾害^[13,17,18],而针对淮北地区夏玉米不同发育阶段气候资源变化及气象产量影响的研究相对较少。本研究利用安徽省淮北地区 24 个市(县)气象观测站 1961~2018 年逐日气象资料及对应市(县)1961~2014 年夏玉米产量资料,分析了夏玉米生长季气候资源时空变化特点及其对气象产量的影响,为气候变暖背景下合理调整玉米品种布局、充分利用气候资源提供科学理论依据。

1 研究资料与方法

1.1 研究区域概况

安徽省淮北地区地势平坦,位于暖温带半湿润季风气候区,是典型的南北气候过渡区,受季风影响,气候四季分明,年平均气温 $14^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $4500\sim 4800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,无霜期 200~220d,年均降水量在 850mm 以上,且 70%以上降水量集中在夏季(6~8月),适宜冬小麦、夏玉米、夏大豆等农作物生长^[13,19]。

1.2 数据资料

安徽省夏玉米主要分布在沿淮淮北的宿州、亳州、阜阳、淮北、蚌埠等 24 个市(县)(图 1)。1961~2018 年各站点逐日气象资料来源于安徽省气象信息中心,主要包括日平均气温($^{\circ}\text{C}$)、日最高气温($^{\circ}\text{C}$)、日最低气温($^{\circ}\text{C}$)、日照时数(h)、日降水量(mm)。对应站点 1961~2014 年夏玉米产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)资料来源于安徽省统计局。

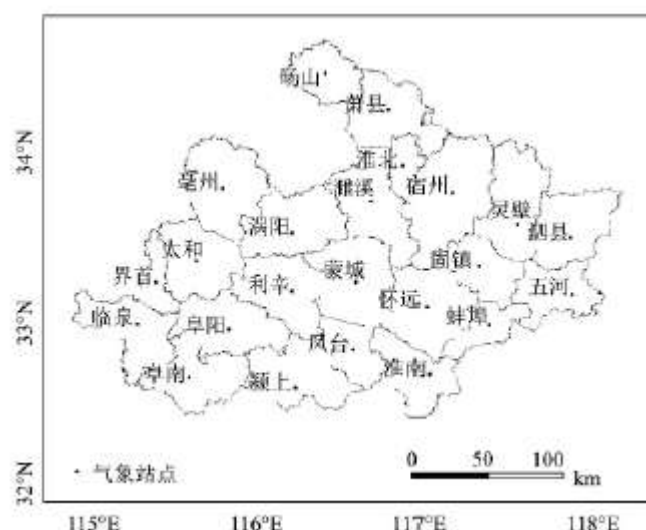


图 1 安徽省淮北地区气象站点分布图

1.3 研究方法

1.3.1 夏玉米生育期划分

根据安徽省淮北地区夏玉米生长发育特点, 本文将夏玉米全生育期划分为营养生长期(播种至拔节)、营养生长与生殖生长并进期(拔节至开花, 以下简称“并进期”)、生殖生长期(开花至成熟)3个阶段(表1)。

表1 安徽省淮北地区夏玉米主要生育阶段

生育阶段	营养生长期	并进期	生殖生长期	全生育期
日期	6. 11-7. 10	7. 11-7. 31	8. 1-9. 30	6. 11-9. 30

1.3.2 气候资源

辐射、温度和降水是农业生产的重要气象因素, 是作物生长发育必需的气象因子^[20], 本论文以太阳总辐射作为夏玉米生长季光能资源, 计算公式如下:

$$R_s = R_0 (0.172 + 0.521n/N) \quad (1)$$

$$N = 24\omega_s / \pi \quad (2)$$

式中: R_s 为太阳总辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$); R_0 为天文辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$); n 为实际日照时数 (h); N 为可能日照时数 (h); ω_s 是日落时的时角; π 取 3.1415926^[21]。

10℃是玉米生长发育最低温度^[12], 本文以 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温作为夏玉米生长季的热量资源; 以夏玉米生育期间的降水量作为其生长发育的水分资源。由于气温日较差对玉米发育期、产量和品质等具有重要的影响^[22, 23], 所以本论文将气温日较差作为夏玉米生长发育的气候资源之一。

1.3.3 气候倾向率

气候要素的趋势变化采用一次线性方程表示, 即:

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

式中: X_i 为气象要素序列; t_i 为时间序列; a 为回归常数; b 为回归系数。其斜率 (b) 表示气象要素变化倾向率, b 值的符号正或负反映趋势上升或下降, $b \times 10$ 为气候要素倾向率, 表示气象要素每 10 年的变化率^[21]。

1.3.4M-K 突变检验

用 Mann-Kendall (M-K) 非参数统计方法对气象要素时间序列进行突变检验^[24], 该法可以检验序列变化趋势、突变点和突变时间区域等, 不需要样本遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰。对于给定的显著水平 $P=0.05$, 则统计量 UF 和 UB 对应的临界值为 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ 。 $UF > 0$ 时, 表示序列呈上升趋势; $UF < 0$ 时, 表明呈下降趋势; UF 超出临界线 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$, 表示上升或下降趋

势明显。在临界值线内，UF 和 UB 曲线的交点即为突变点。

1.3.5 气象产量

作物产量是各种自然因素和非自然因素综合影响的结果，作物的实际产量 y 主要由趋势产量 y_t 、气象产量 y_w 和随机误差因素造成的产量 ε 三部分组成^[26]，即：

$$y = y_t + y_w + \varepsilon \quad (4)$$

趋势产量 y_t 主要是反映历史时期生产力发展水平的长周期产量分量，气象产量 y_w 主要是受以气象要素为主的短周期变化因子等影响的产量分量。由于 ε 是一些偶然因素的影响造成的产量随机变化，在作物产量中占的比例较小，可忽略不计。因此，(4) 式可以简化为：

$$y = y_t + y_w \quad (5)$$

本研究采用 Logistic 产量分解方法^[26]对淮北地区夏玉米实际产量数据进行模拟求得趋势产量，实际产量减去趋势产量，得到夏玉米气象产量。

$$y_w = y - y_t \quad (6)$$

1.3.6 数据统计分析

本研究采用 VisualBasic6.0 和 Microsoft Excel2013 对气象数据和产量数据进行计算处理，包括气象产量计算、气候倾向率。采用 DPS7.05 统计软件对数据进行相关分析、回归分析、M-K 突变检验等。地理分布绘图采用 ArcGIS10.0。

2 结果与分析

2.1 淮北地区夏玉米生长季气候资源变化特征

2.1.1 太阳总辐射

太阳辐射是玉米进行光合作用的必要条件。1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期太阳总辐射历年均值的变化范围为 2045.3~2490.5 MJ·m⁻²。年际变化看，全生育期、营养生长期、并进期和生殖生长期太阳总辐射均呈极显著 ($P < 0.01$) 减少趋势，减少幅度分别为 65.7、18.4、11.6 和 35.6 MJ·m⁻²·10a⁻¹。淮北地区夏玉米全生育期太阳总辐射空间分布上，总体由北向南呈逐渐减少趋势，高值区位于北部砀山、亳州、濉溪、淮北等地，年均辐射值高于 2300 MJ·m⁻²；低值区位于南部的怀远、蚌埠、颍上等地，年均辐射值不足 2200 MJ·m⁻²；其他地区太阳总辐射介于 2200~2300 MJ·m⁻² (图 3a)。

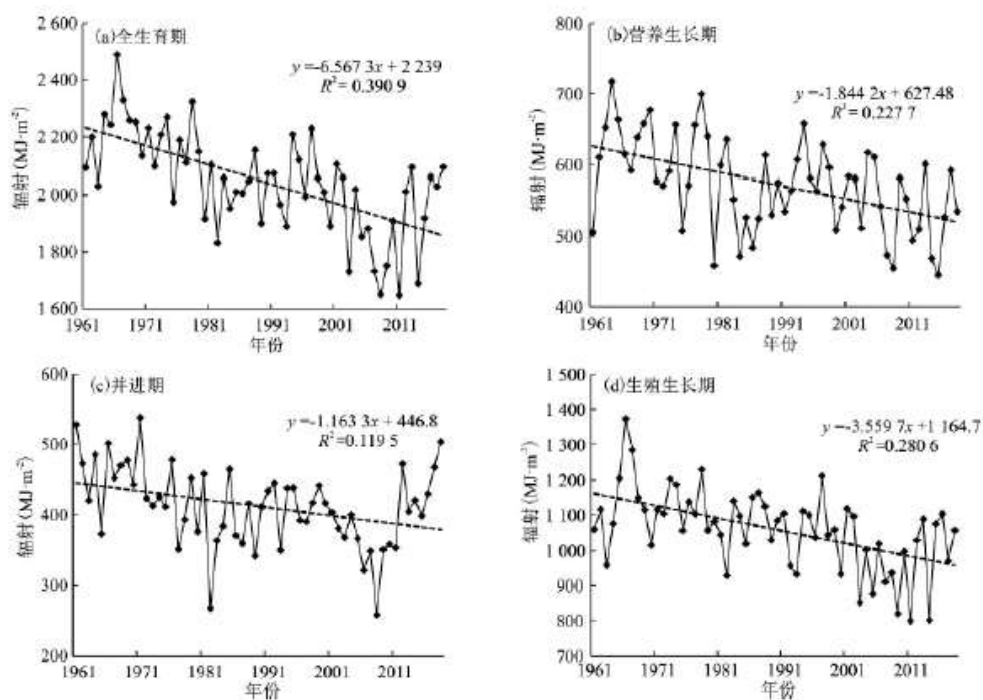


图2 1961~2018年安徽省淮北地区夏玉米不同生育阶段太阳总辐射变化特征

由 M-K 检测可以看出 (图 4a), 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期太阳总辐射的 UF 和 UB 曲线相交于 1980~1981 年之间, 表明夏玉米全生育期太阳总辐射在 1981 年发生由多到少的突变, 突变后 ($169.4\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) 较突变前 ($2189.5\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) 减少了 $220.1\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 且 UF 曲线在 1983 年超过了 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线, 减少趋势显著。

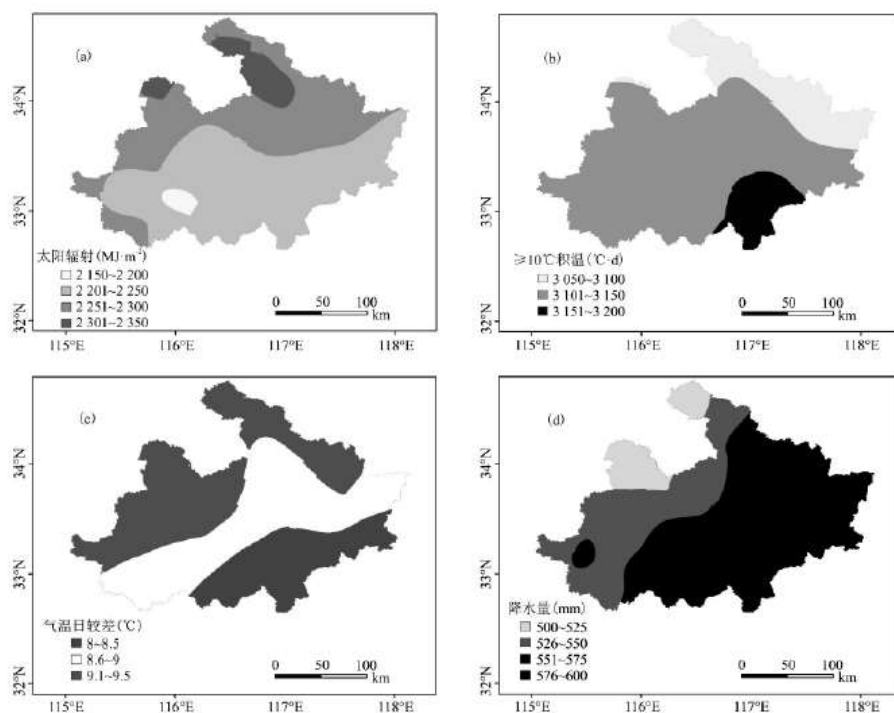


图 3 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期太阳总辐射(a)、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温(b)、日较差(c)和降水量(d)分布图下载原图

2.1.2 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温

热量资源是农业生产的重要自然资源,在正常水分条件下,热量资源决定了作物的品种、熟型、产量及作物的生长发育^[27]。近 58a 安徽省淮北地区夏玉米全生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温均值大部分地区介于 $3100\sim 3150^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,东部一带不足 $3100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (图 3b)。1961~2018 年夏玉米不同生育阶段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温均呈不显著($P>0.05$)增加趋势,其中以全生育期增幅最大,为 $7.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$;营养生长期和生殖生长期次之,分别为 3.2 和 $3.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$;并进期最小,为 $0.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ (图 5)。

由 M-K 检测可以看出(图 4b),1961~1966 年、1968~2003 年内淮北地区夏玉米全生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为减少趋势,且 1974、1976~1977 年及 1982~1994 年这种减少趋势超过了 $\mu_{0.05}=\pm 1.96$ 临界线;1967 年、2004~2018 年时段内夏玉米全生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为上升趋势。UF 和 UB 曲线存在多个交点,且交点位于 $\mu_{0.05}=\pm 1.96$ 临界线内,表明 1961~2018 年夏玉米全生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温没有发生突变。

2.1.3 气温日较差

1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期气温日较差总体呈纬向分布,由北向南呈逐渐减少趋势。淮北北部大部分地区年均气温日较差在 9°C 以上,中部 $8.7^{\circ}\text{C}\sim 9^{\circ}\text{C}$,南部 $8^{\circ}\text{C}\sim 8.4^{\circ}\text{C}$ (图 3c)。近 58a 安徽省淮北地区夏玉米全生育期、营养生长期、并进期及生殖生长期气温日较差均呈极显著($P<0.01$)减少趋势,减幅分别为 0.22 、 0.23 、 0.20 和 $0.21^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,气温日较差减少主要原因是受气温非对称变化的影响,即平均日最低气温的增幅明显大于平均日最高气温的增幅^[28,29]。

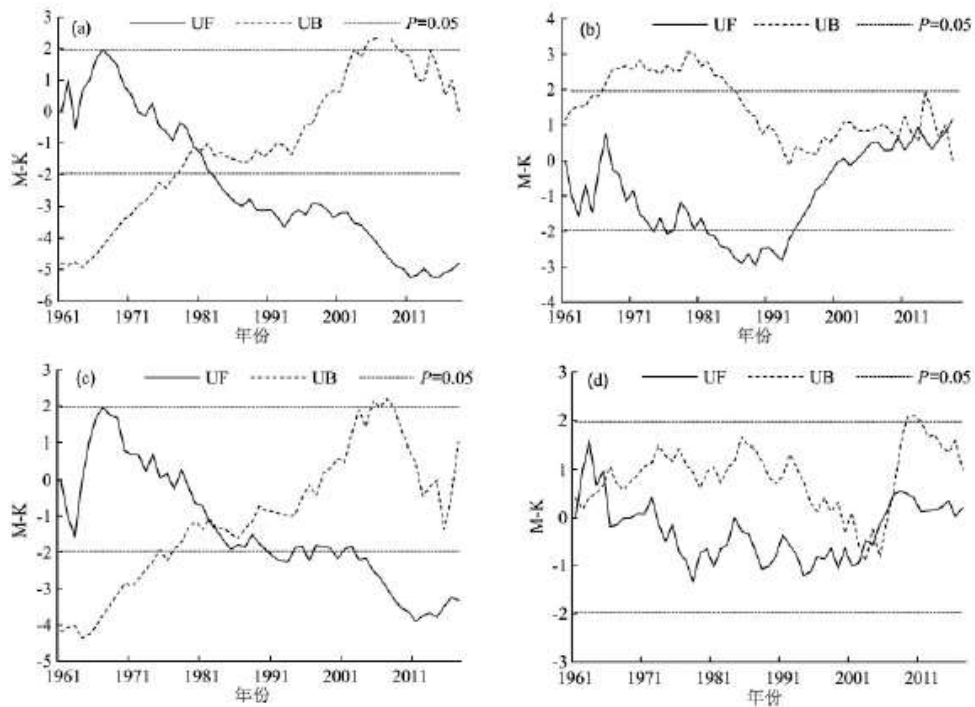


图 4 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期太阳总辐射(a)、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温(b)、

日较差(c)和降水量(d)M-K 检验(直线为 $P=0.5$ 显著性水平临界值)

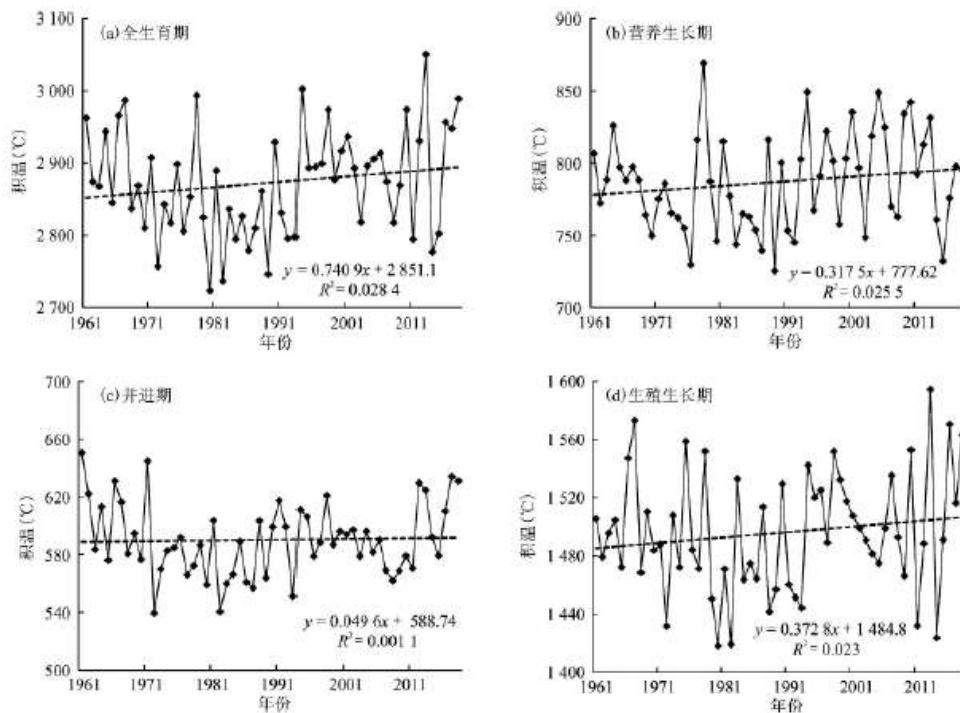


图 5 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米不同生育阶段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化特征

由 M-K 检测可以看出(图 4c), 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期气温日较差的 UF 和 UB 曲线相交于 1981~1982 年之间, 且交点位于 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ 内, 表明淮北地区夏玉米全生育期气温日较差在 1982 年发生了由高到低的突变, 突变后 (8.3°C) 较突变前 (9.0°C) 降低了 0.7°C 。此外 UF 曲线在 1991 年超过了 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ ($P < 0.05$) 临界线, 说明从 1991 年开始全生育期气温日较差减少趋势显著 ($P < 0.05$)。

2.1.4 降水量

降水资源的多少及时空分布对种植制度、作物种类、品种布局以及产量的高低和稳定程度都有明显影响^[34]。1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米全生育期降水量呈径向分布, 降水量高值区位于淮北东部, 年均降水量在 575.0mm 以上; 低值区位于淮北的北部, 年均降水量小于 525.0mm (图 3d)。从年代变化看, 全生育期、营养生长期、生殖生长期降水量均呈不明显 ($P > 0.05$) 增加趋势, 增幅分别为 6.6 、 7.2 、 $6.2\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$; 并进期降水量呈不明显 ($P > 0.05$) 减少趋势, 减幅为 $6.8\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。

由 M-K 检测可以看出(图 4d), 1961~1965、1968~1972、2006~2018 年内淮北地区夏玉米全生育期降水量为增加趋势; 1966~1967、1973~2005 年内全生育期降水量为减少趋势。UF 和 UB 曲线存在多个交点, 且交点均位于 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线内, 表明 1961~2018 年全生育期降水量没有发生突变。

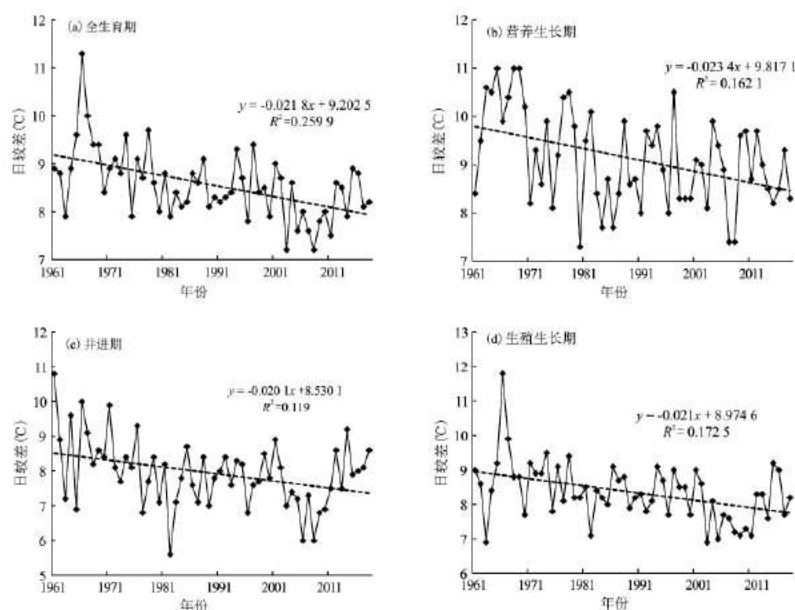


图 6 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米不同生育阶段日较差变化特征

2.2 气候资源变化对夏玉米气象产量的影响

2.2.1 气候资源与夏玉米气象产量的相关分析

基于淮北地区 1961~2014 年夏玉米产量数据, 采用 Logistic 产量分解方法, 计算出淮北地区夏玉米气象产量(图 8), 再与不同生育阶段的太阳总辐射、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、日较差、降水量进行相关分析。由表 2 可知, 淮北地区夏玉米不同生育阶段太阳总辐射与气象产量相关性均不显著($P>0.05$), 这与曹铁华等^[31,32]研究结论一致, 其原因可能是玉米是 C4 植物, 光合效率高, 夏玉米生长季太阳总辐射虽呈减少趋势, 但仍满足其生长发育所需的光照条件, 所以一定范围内太阳总辐射的减少对夏玉米气象产量没有明显影响。

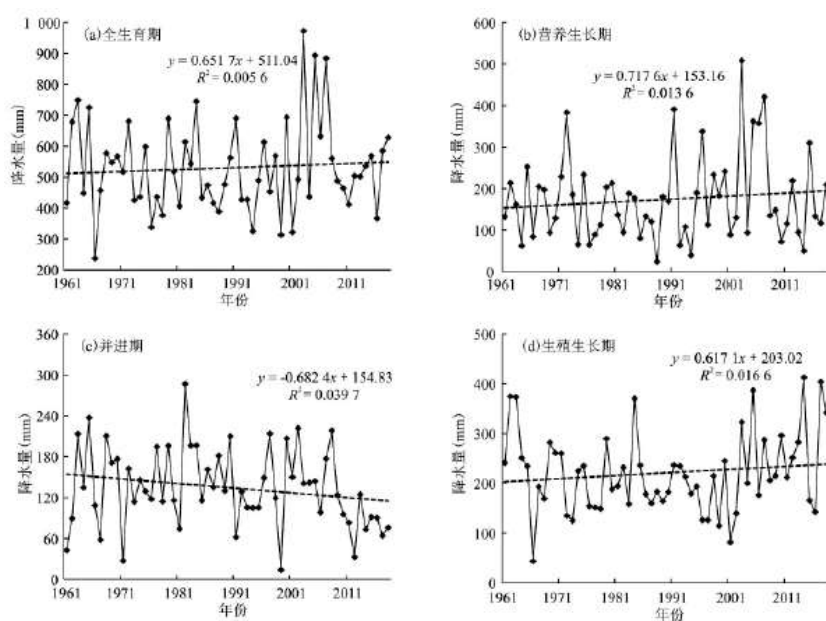


图 7 1961~2018 年安徽省淮北地区夏玉米不同生育阶段降水量变化特征

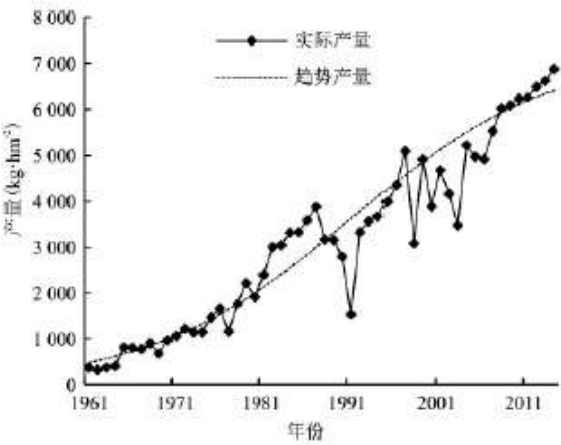


图 8 1971~2014 年安徽省淮北地区夏玉米实际产量、趋势产量

淮北地区夏玉米气象产量与不同生育阶段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈负相关关系,其中与并进期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温相关性达 $P=0.05$ 显著性水平(表 2),说明 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的增加对夏玉米气象产量的形成为负效应。一方面可能因夏玉米生长期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加,使生育期变短,致灌浆不足有关,另一方面也可能因温度升高使水分蒸腾加快,干旱风险增大,影响夏玉米气象产量^[33]。

淮北地区夏玉米气象产量与不同生育阶段气温日较差均呈不显著($P>0.05$)正相关关系(表 2),即日较差的减少不利于夏玉米气象产量的形成。因为气温日较差的减少,尤其是最低气温的升高造成夜间呼吸作用增强,干物质积累减少^[29],进而造成夏玉米气象产量的降低。

由表 2 可知,夏玉米气象产量与营养生长期、生殖生长期和全生育降水量呈负相关,其中营养生长期和全生育期相关性达极显著水平($P<0.01$)。降水对淮北地区夏玉米气象产量的影响以营养生长期最为明显,其原因可能是玉米是旱作物,需水量大但又不耐涝,且玉米营养生长期对涝渍的敏感性最高^[34]。采用二次曲线回归分析夏玉米全生育期降水量与气象产量的关系可知,夏玉米全生育期适宜降水量为 444.0mm,大于 444.0mm 的降水对夏玉米气象产量的形成为负效应(图 9)。

表 2 1961~2014 年安徽省淮北地区夏玉米不同生育阶段气象要素与气象产量的相关系数

气象要素	营养生长期	并进期	生殖生长期	全生育期
太阳总辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	-0.0561	-0.0244	0.1837	0.0899
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)	-0.1038	-0.2813*	-0.1204	-0.2104
日较差 ($^{\circ}\text{C}$)	0.1222	0.0352	0.1513	0.1860
降水量 (mm)	-0.4708**	0.0963	-0.0495	-0.3178**

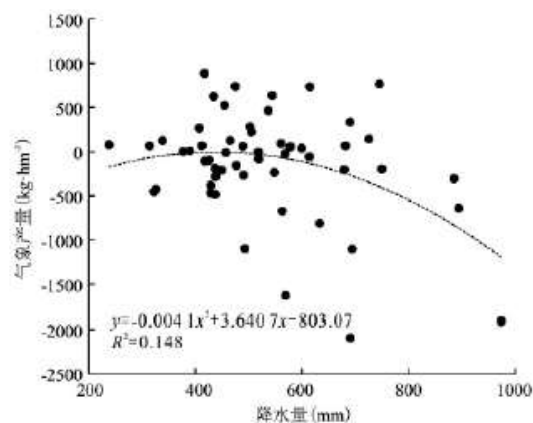


图 9 1961~2014 年安徽省淮北地区玉米全生育期气象产量与降水量相关性

2.2.2 气候资源与夏玉米气象产量的回归分析

为综合反映气候资源变化对淮北地区夏玉米气象产量的影响，分别以太阳总辐射(x_1)、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温(x_2)、日较差(x_3)、降水量(x_4)为自变量，以夏玉米气象产量(y)为因变量，采用线性回归分析，建立夏玉米不同生育阶段气象产量回归方程。由表 3 可见，安徽省淮北地区夏玉米全生育期和并进期的太阳总辐射、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、日较差、降水量对其气象产量的综合影响均为达 $P=0.05$ 显著性水平检验；营养生长期气象要素对夏玉米气象产品综合影响达极显著水平($P<0.01$)。营养生长期夏玉米气象产量回归方程相关系数未达到 $P=0.05$ 显著水平。

表 3 安徽省淮北地区夏玉米不同生育阶段气象产量的回归方程

生育阶段	回归方程	相关系数	P 值
全生育期	$y=6894.8225-0.4325x_1-2.508x_2+198.5815x_3-1.2187x_4$	0.4406*	0.029
营养生长期	$y=2538.9275-4.4995x_1-2.338x_2+244.3068x_3-2.7381x_4$	0.5613**	<0.001
并进期	$y=6246.3843+0.5603x_1-14.5304x_2+242.409x_3+0.1663x_4$	0.4264*	0.040
生殖生长期	$y=3062.2011+1.887x_1-3.2556x_2-53.431x_3+0.5119x_4$	0.2803	0.394

3 讨论

关于安徽省淮北地区气候资源变化的研究多集中以年为尺度^[15,16]，本文在前人研究的基础上，针对夏玉米不同生育期气候资源的时空变化特征进行了分析。结果表明，气候变暖背景下，淮北地区夏玉米生长季气候资源总体表现为太阳总辐射和日较差显著减少， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温和降水变化趋势不明显，这与前人研究结果基本一致^[35,36]。

玉米生长发育及产量形成需要一定热量条件,一般来说,中熟玉米品种全生育期需要 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 $2400\sim 2700^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,中晚熟品种需要 $2700\sim 3000^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,晚熟品种需要 $>3000^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ^[37]。目前安徽省淮北地区夏玉米种植以中熟品种为主,淮北地区夏玉米生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温均在 $2700^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上,完全能满足其生长发育对热量的需求。在播种期不变情况下,如果收获期推迟到 10 月上旬, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温可达 $3000^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上。所以淮北地区夏玉米生产过程中,可结合茬口和墒情适时播种,选择生育期相对较长、产量相对较高的中晚熟品种,以充分利用当地热量资源。

近 58a 安徽省淮北地区夏玉米全生育期降水量变化趋势不明显,这与陈晓艺等^[36,38]研究结论较为一致。淮北地区夏玉米全生育期降水量均值为 530.3mm,完全能满足中熟甚至晚熟玉米品种生长发育对水分的需求^[39],但不同年际间降水差异较大,旱涝时有发生,尤其 90 年代以来淮北地区降水极端事件发生较为频繁^[38]。相关研究表明淮北地区夏玉米生长后期干旱现象有加重趋势,抽雄开花期是干旱频率及干旱风险较高的时段^[40],而出苗至抽雄阶段涝渍灾害总体呈增加趋势^[41]。气候变暖下,淮北地区旱涝灾害发生可能更加频繁,严重威胁夏玉米安全生产,因此淮北地区应加强水利基础设施建设,提升灌溉和排涝能力,通过水分调节以提升夏玉米气象产量。

从实际产量分离气象产量对研究结果至关重要,目前常用的气象产量分解方法有滑动平均法、双指数平滑法、Logistic 拟合法、HP 滤波法、曲线拟合法等^[21,33,41~43],每种方法均存在一定的适用范围和局限性。魏庆伟等^[42]通过对比分析,认为综合平均趋势法计算河南省浚县 1986~2018 年的冬小麦气象产量最为准确;牛浩等^[43]认为 HP 滤波法分离山东省玉米气象产量优于其它方法。但针对安徽省夏玉米气象产量分解方法的研究鲜有报道,所以本研究采用 Logistic 拟合法是否能准确的分离趋势产量,有待于进一步分析验证。文中淮北地区气候资源要素和夏玉米产量均为 24 个市(县)的平均值,但气候资源和产量存在一定空间差异,本研究相关结论只反映了淮北地区的平均状况,针对具体市(县)的研究还需进一步分析。此外本文仅分析了太阳总辐射、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、气温日较差、降水量等气候资源变化对安徽省淮北地区夏玉米气象产量的影响,实际生产中高温热害、干旱、涝渍等灾害^[13,44]也是影响夏玉米生产的因素,综合分析气候资源及气象灾害对夏玉米生产的影响是下一步工作的重点。

4 结论

(1)安徽省淮北地区夏玉米全生育期、营养生长期、营养生长与生殖生长并进期、生殖生长期太阳总辐射和日较差均呈极显著减少趋势($P<0.01$), $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和降水量以增加趋势为主,但变化趋势不明显($P>0.05$)。空间分布上,太阳总辐射和气温日较差呈北多南少趋势, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温空间差异不大,降水量总体呈径向分布,高值区位于淮北东部。

(2)降水量是影响淮北地区夏玉米气象产量关键气象因子, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在并进期对夏玉米气象产量影响达显著水平($P<0.05$),太阳总辐射和日较差对夏玉米气象产量影响不显著($P>0.05$)。

(3)气候资源变化对淮北地区夏玉米气象产量综合影响在全生育期和并进期达到显著水平($P<0.05$),在营养生长期达极显著水平($P<0.01$)。

(4)安徽省淮北地区在夏玉米种植过程中,可通过加强水利基础设施建设,提升水分调节能力,以提高夏玉米气象产量。

参考文献:

[1]IPCC. Climate change 2013:The physical science basis. Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5) [R]. Switzerland: IPCC, 2013.

[2]矫梅燕. 气候变化对中国农业影响评估报告(No. 1) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2014.

-
- [3]LOBELL DB, SCHLENKER W, COSTA ROBERTS J. Climate trends and global crop production since 1980[J]. Science, 2011, 333:616-620.
- [4]赵锦, 杨晓光, 刘志娟, 等. 全球气候变化对中国种植制度可能影响分析 II: 南方地区气候要素变化特征及对种植制度界限可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9):1860-1867.
- [5]杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2):329-336.
- [6]何奇瑾, 周广胜. 我国玉米种植区分布的气候适宜性[J]. 科学通报, 2012, 57(4):267-275.
- [7]何奇瑾, 周广胜. 我国夏玉米潜在种植分布区的气候适宜性研究[J]. 地理学报, 2011, 66(11):1443-1450.
- [8]赵俊芳, 杨晓光, 刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(12):6544-6551.
- [9]袁彬, 郭建平, 冶明珠, 等. 气候变化下东北春玉米品种熟型分布格局及其气候生产潜力[J]. 科学通报, 2012, 57(14):1252-1262.
- [10]刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 IV. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11):2280-2291.
- [11]孟林, 刘新建, 邬定荣, 等. 华北平原夏玉米主要生育期对气候变化的响应[J]. 中国农业气象, 2015, 36(4):375-382.
- [12]陆伟婷, 于欢, 曹胜男, 等. 近 20 年黄淮海地区气候变暖对夏玉米生育进程及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(16):3132-3145.
- [13]李德, 孙义, 孙有丰. 淮北平原夏玉米花期高温热害综合气候指标研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(8):1035-1044.
- [14]田红. 淮河流域气候变化影响评估报告[M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [15]卢燕宇, 田红, 鲁俊, 等. 近 50 年安徽省太阳总辐射的时空变化特征[J]. 气象科技, 2016, 44(5):769-775.
- [16]祁宦. 近 50 年安徽淮北平原降水变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2):138-142.
- [17]李德, 祁宦, 马晓群. 安徽省淮北平原夏玉米主要生育时期旱涝指标与影响评估[J]. 中国农学通报, 2013, 29(17):208-216.
- [18]余卫东, 冯利平, 盛绍学, 等. 黄淮地区涝渍胁迫影响夏玉米生长及产量[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13):127-136.
- [19]陈柏丽, 朱永华, 王春艳, 等. 淮北平原降水量和参考作物蒸散量时空演变规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(6):109-116.

-
- [20]徐玉秀,蒋姗姗,周福然,等. 1981-2010 年锦州地区玉米生育期气象因子变化及其与气象产量的关系[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(5):82-90.
- [21]岳伟,陈金华,阮新民,等. 安徽省沿江地区双季稻光热资源利用效率变化特征及对气象产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(6):929-940.
- [22]刘淑云,董树亭,胡昌浩,等. 玉米产量和品质与生态环境的关系[J]. 作物学报, 2005, 31(5):571-576.
- [23]王柳,熊伟,温小乐,等. 温度降水等气候因子变化对中国玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21):138-146.
- [24]田志会,李晓雪. 1949-2016 年我国粮食主产区旱灾变化趋势分析[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(12):159-167.
- [25]杨继武. 农业气象预报和情报[M]. 北京: 气象出版社, 1994:247-258.
- [26]吉奇. 基于 Logistic 和灾减率方法制作玉米产量的预测[J]. 中国农学通报, 2012, 28(06):293-296.
- [27]冯喜媛,王宁,刘实. 1961-2014 年东北三省热量资源变化特征[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(1):91-98.
- [28]唐红玉,翟盘茂,王振宇. 1951-2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4):728-735.
- [29]曹言,王杰,柴素盈,等. 1970-2014 年云南省气温日较差变化特征及影响因子[J]. 水土保持研究, 2018, 25(16):100-108.
- [30]冯喜媛,唐守顺. 宿县地区降水条件的农业气候分析[J]. 安徽农业科学, 1987, (1):79-83.
- [31]曹铁华,梁烜赫,刘亚军,等. 吉林省气候变化对玉米气象产量的影响[J]. 玉米科学, 2010, 18(2):142-145.
- [32]张甜,毛文书,喻宝龙,等. 重庆市巴南区气候对玉米产量的影响分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(3):205-215.
- [33]高娟,冯灵芝,张建康,等. 毛乌素沙漠与黄土高原过渡带气候变化对玉米产量的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(12), 118-124, 135.
- [34]叶阳,王矿. 淮河流域玉米受淹胁迫试验研究[J]. 治淮, 2014, (11):19-20.
- [35]杜祥备,习敏,孔令聪,等. 安徽麦玉两熟区温光水资源分布特征及演变趋势[J]. 西南农业学报, 2019, 32(9):2014-2019.
- [36]陈晓艺,曹雯,王晓东,等. 淮河流域南部作物生长季农业气候资源特征分析[J]. 生态环境学报, 2018, 27(6):1005-1015.
- [37]张丽敏,张淑杰,郭海,等. 东北春玉米适宜生长期农业气候资源变化及其影响分析[J]. 江西农业学报, 2018, 30(2):93-99.
- [38]袁新田,刘桂建. 1957 年至 2007 年淮北平原气候变率及气候基本态特征[J]. 资源科学, 2012, 34(12):2356-2363.

-
- [39]田宏伟.黄淮海地区玉米生育期农业气候资源分析[J].气象与环境科学,2016,39(4):56-61.
- [40]张建军,盛绍学,王晓东.安徽省夏玉米生长季干旱时空特征分析[J].干旱气象,2014,32(2):163-168.
- [41]张桂香,霍治国,杨建莹,等.江淮地区夏玉米涝渍灾害时空分布特征和风险分析[J].生态学杂志,2017,36(3):747-756.
- [42]魏庆伟,石俊峰,张亿博,等.冬小麦趋势产量与气象产量分离方法对比分析[J]山东农业科学,2019,51(8):127-132.
- [43]牛浩,陈盛伟.山东省玉米气象产量分离方法的多重比较分析[J].山东农业科学,2015,47(8):95-99.
- [44]赵龙飞,李潮海,刘天学,等.花期前后高温对不同基因型玉米光合特性及产量和品质的影响[J].中国农业科学2012,45(23):4947-4958.