

近 50 年安徽省双季稻安全生产期变化特征¹

岳伟¹, 阮新民², 陈金华^{1*}, 王晓东¹, 陈砚涛³, 伍琼¹, 王珍¹

(1. 安徽省农业气象中心, 安徽合肥 230031; 2. 安徽省农业科学院水稻研究所, 安徽合肥 230031;

3. 安徽省石台县气象局, 安徽石台 245100)

【摘要】: 为进一步了解安徽省双季稻安全生产界限温度日期变化特征, 以安徽省 22 个双季稻生产市(县)气象观测站 1961~2017 年日平均气温为基础, 采用线性趋势法和 Mann-Kendall 非参数检验法, 分析了安徽省沿江双季稻区早稻安全播种期、移栽期和晚稻安全齐穗期、成熟期及双季稻安全生长期日数、积温变化特征。结果表明: 近 50 年安徽省沿江地区早稻安全播种期呈显著提前趋势 ($P < 0.05$), 其中薄膜育秧平均提前 1.8 d/10 a, 露天育秧提前 1.5 d/10a; 早稻安全移栽期呈极显著提前趋势 ($P < 0.01$), 平均提前 2.5 d/10 a; 晚稻安全齐穗期、成熟期推迟趋势不显著 ($P > 0.05$); 安全生产期日数和积温增加显著 ($P < 0.01$), 平均增幅分别为 2.6 和 62.7°C·d/10 a。安全生产期日数和积温增加对双季稻种植和品种选择具有积极作用, 但晚稻采用直播、机插等栽种方式有遭遇低温冷害的风险。

【关键词】: 安徽; 双季稻; 界限温度; 安全生产期; 保证率

【中图分类号】: S511.42 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2019)09-2230-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201909021

全球气候变暖已成为不争的事实, IPCC 第 5 次评估报告指出, 过去 100 多年来(1880-2012 年), 全球地表平均温度已升高 0.85°C (0.65~1.06°C, 2003-2012 年平均温度比 1850-1900 年平均温度上升 0.78°C^[1])。1906~2005 年我国年平均气温上升 (0.78±0.27)°C^[2, 3]。以气温升高为显著特征的气候变化对农业生态环境、农作物生产特别是水稻生产产生了一系列不可忽视的影响^[4~11]。

界限温度是指具有一定生物学意义、能指示农事活动的温度^[12], 不同界限温度的初终日期、持续日数及积温对一个地区的作物布局、耕作制度、品种搭配和季节安排等都具有十分重要的指示意义, 也是分析评价一个地区不同类型作物种植北界、可利用的热量资源、病虫害及对产量和品质的影响的重要依据之一^[13, 14]。安徽省双季稻区是我国适宜于双季稻种植的北缘地区, 也是长江中下游双季稻主产区之一, 主要分布在江淮南部和沿江。近年来种植面积有所下降, 但每年播种面积仍在 20 万 hm² 左右, 对安徽省粮食总产的贡献依然发挥重要作用。近 50 年安徽省沿江地区 4~10 月平均气温呈显著升高趋势^[15], 双季稻生长可

¹收稿日期: 2018-10-25; 修回日期: 2019-12-17

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFD0301304); 安徽省气象局科研项目 (KM201807)

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

* 通讯作者 E-mail: ckinghua@126.com

利用热量资源增加,但早稻播种育秧期“倒春寒”和晚稻抽穗灌浆期间“寒露风”等气象灾害时有发生,影响双季稻安全生产,所以合理安排播期,充分利用热量资源,对提高双季稻产量较为重要,尤其是科学安排早稻播种期和晚稻齐穗期,二者过早或过迟均不利于周年的高产和稳产^[16]。因此,在气候变化背景下研究双季稻安全生产期的变化特征具有重要意义。谢远玉等^[17]对长江中下游的湖南、江西和湖北等双季稻主产区研究发现,1961~2012年双季早稻安全播种期提前3~7d、双季晚稻安全齐穗期延后2d,双季稻安全生长期平均延长7d,种植北界明显北移了200km左右。廖忠辉等^[18]研究表明湘潭市1961~2010年多数地方稳定通过11℃初日提前,稳定通过20℃终日推迟,稳定通过8℃初日、22℃终日变化不大。然而,不同地区双季稻安全生产界限温度变化特征并不完全一致,关于安徽省双季稻安全生产界限温度变化相关研究尚不多见。笔者在全球变暖的大背景下,重点分析近50年(1961~2017年)安徽省双季稻安全生产期变化特征,以期当地政府、涉农部门应对气候变化、充分利用气候资源、合理调整双季稻种植结构提供重要的理论依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究所用气象资料来自于安徽省气象信息中心,包括安徽江淮南部和沿江双季稻种植区的22个气象台站(图1)1961~2017年逐日日平均气温(℃)。



图1 安徽省双季稻种植区气象站点分布

1.2 研究方法

1.2.1 双季稻安全生长日期的确定

采用5日滑动平均法对各站点逐日日平均温度进行分析,确定大于某一界限温度的起始或终止日期,再用不连续出现3d以上不低于该界限温度的办法确定安全生产日期^[19]。早稻覆膜育秧与露天育秧安全播种界限温度分别为8℃与12℃,早稻安全移栽的界限温度为15℃,晚稻安全齐穗与成熟的界限温度分别为22℃与15℃^[20,21]。双季安全生产期日数,即早稻安全播种期至晚稻安全成熟期的总天数^[22]。

1.2.2 80%保证率计算

保证率是指在一段时间内某一气象要素高于(或低于)某一界限所有数值出现频率之和,即累积频率^[23]。本文采用经验频率

法计算各界限的 80%保证率。公式为：

$$P_i = m / (n + 1) \times 100\% \quad (1)$$

式中： P_i 为某气候要素保证率； m 为安全日期按日期迟早顺序排列的序列号； n 为样本个数，本文指资料年数。

1.2.3 气候变化倾向率

采用最小二乘法计算双季稻安全生产日期与年度时间序列的线性回归系数 a ，双季稻安全生产日期的变化趋势用一次线性回归方程表示，即：

$$y = at + b \quad (2)$$

式中： y 为双季稻安全生产日期拟合值； a 为回归系数； b 为回归常数； t 为年度时间序列。其斜率 a 表示双季稻安全生产日期变化倾向率， a 值的符号正或负反映趋势上升或下降， $a \times 10$ 为气候倾向率，表示安全生产日期每 10 年的变化率^[24]。

1.2.4 M-K 检验

用 Mann-Kendall (M-K) 方法对各气象要素时间序列进行突变检验^[25, 26]，该方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。

2 结果与分析

2.1 早稻安全播种期

安徽省早稻播种期，冷空气活动频繁，气温多变，烂种烂秧常有发生，所以早稻安全播种是提高发芽率和秧苗质量的重要手段之一。近 50 年安徽省早稻无论是薄膜育秧还是露天育秧方式，安全播种期均呈提前趋势，且通过了 $P=0.05$ 显著性水平检验（图 2a 和图 3a），其中薄膜育秧平均每 10 a 提前 1.8 d，露天育秧平均每 10 a 提前 1.5 d。薄膜育秧安全播种期多年均值为 3 月 14 日，最早为 2 月 22 日，最晚为 3 月 30 日，80%保证率日期为 3 月 25 日（表 1）；露天育秧安全播种期多年均值为 4 月 5 日，最早为 3 月 18 日，最晚为 4 月 25 日，80%保证率日期为 4 月 12 日（表 1）。从年代际变化看，1960s~1990s 早稻薄膜育秧安全播种期在 3 月 17~20 日，从 2000s 开始明显提前，至 2000s 后提前至 3 月 7 日；露天育秧安全播种期从 1960s 的 4 月 10 日开始逐渐提前，至 2000s 提前至 3 月 31 日，2000s 后略有推迟（表 1）。

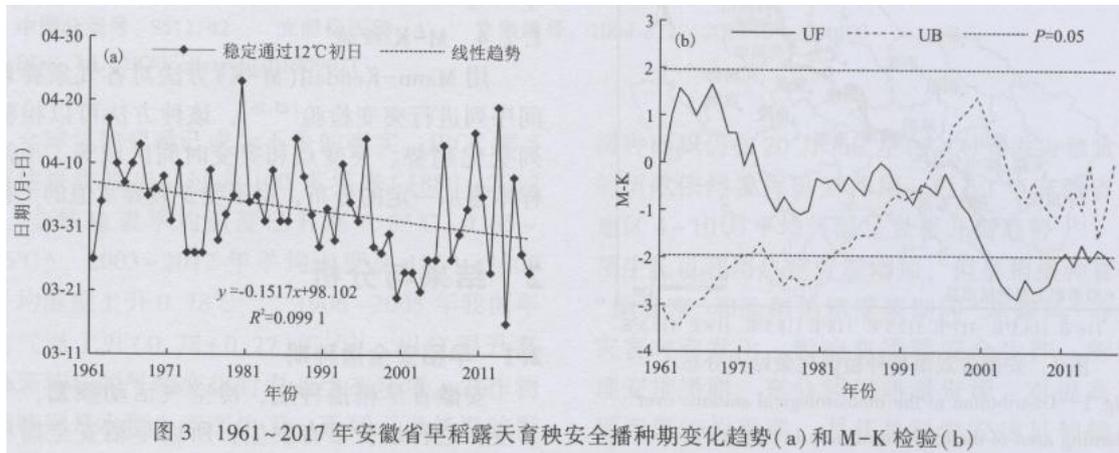
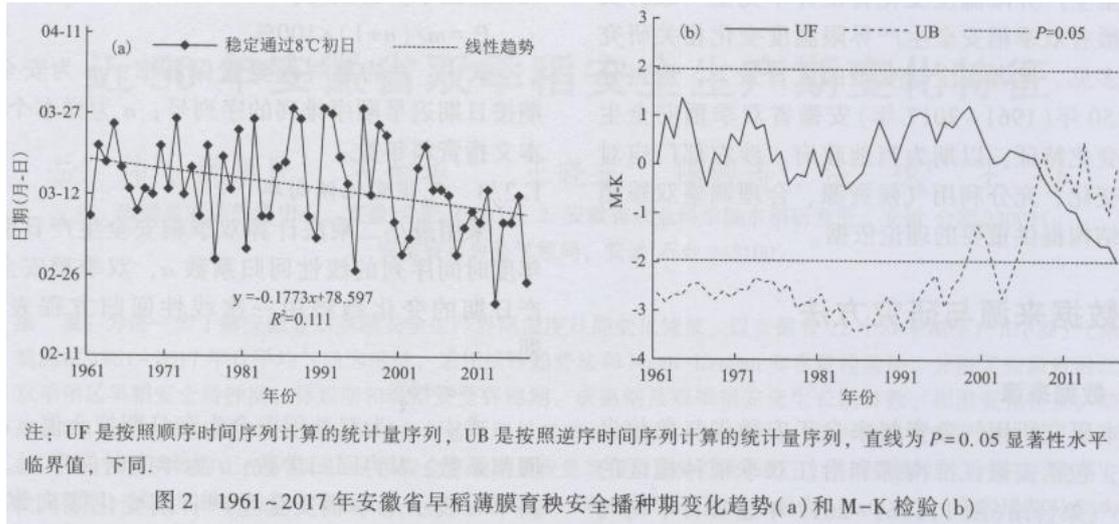


表 1 1961-2017 年安徽省双季稻安全生产日期及变化

安全生产期	历年 均值	80%保 证率	年代					
			1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2011-2017
早稻薄膜育秧安全播种期 (m/d)	3/14	3/25	3/18	3/17	3/17	3/20	3/12	3/7
早稻露天育秧安全播种期 (m/d)	4/5	4/12	4/10	4/6	4/6	4/3	3/31	4/2
早稻安全移栽期 (m/d)	4/18	4/28	4/25	4/18	4/23	4/15	4/16	4/9
晚稻安全齐穗期 (m/d)	9/16	9/10	9/17	9/13	9/14	9/17	9/20	9/15
晚稻安全成熟期 (m/d)	10/25	10/18	10/22	10/24	10/23	10/24	10/28	10/29
双季稻安全生产期日数 (d)	204	195	198	204	201	204	211	210
双季稻安全生产期积温 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)	4779.2	4219.9	4677.7	4704.8	4652.6	4763.7	4.983.5	4941.3

利用 Mann-Kendall 方法对 1961 ~ 2017 年安徽省沿江地区早稻薄膜育秧和露天育秧安全播种期时间序列的突变情况进行检验，取显著性水平 $P_{0.05} = \pm 1.96$ 。由图 2b 可见，1961~2017 年安徽省早稻薄膜育秧安全播种期的 UF 和 UB 曲线相交于 2006~2007 年之间，且交叉点位于水平线以内，表明早稻薄膜育秧安全播种期在 2007 年发生突变，突变后（3 月 7 日）较突变前（3 月 17 日）提前了 10d，UF 曲线在 2016 年超过了 $P_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线。早稻露天育秧安全期播种期的 UF 和 UB 曲线有 2 个交点，分别为 1991~1992 年、1993~1994 年之间，UF 曲线在 2002 年突破了 $P_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线（图 3b）。由于两个突变点均处于 $P_{0.05} =$

±1.96 临界线内, 且 1993~1994 年之间的突变离 2002 年较近, 所以安徽省早稻露天育秧安全播种期突变时间为 1994 年, 突变后 (4 月 2 日) 较突变前 (4 月 7 日) 提前了 5 d。

2.2 早稻安全移栽期

早稻适时移栽, 可以提高插秧质量, 促进早返青、早分蘖。1961~2017 年安徽省早稻安全移栽期呈提前趋势, 且通过了 $P = 0.01$ 水平显著性检验 (图 5a), 平均每 10a 提前 2.6d。多年均值为 4 月 18 日, 最早和最迟分别出现在 2016 年 3 月 27 日和 1968 年 5 月 11 日, 不同年份间相差较大, 80% 保证率日期为 4 月 28 日 (表 1)。从年代际变化看, 1960s~1980s, 早稻安全移栽期主要在 4 月下旬, 1990s~2000s 提前至 4 月中旬中期, 而 2000s 后提前至 4 月上旬末, 较 20 世纪 1960s 提前了 16 d。

由 M-K 检测可以看出, 近 50 年安徽早稻安全移栽期的 UF 和 UB 曲线相交于 2003~2004 年之间, 表明双季稻安全移栽期在 2004 年发生突变, 突变后 (4 月 10 日) 较突变前 (4 月 20 日) 提前了 10d。UF 曲线在 2011 年超过了 $P_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线。

2.3 晚稻安全齐穗期

晚稻能否安全齐穗, 直接关系到晚稻稳产高产。1961~2017 年安徽省晚稻安全齐穗期虽呈推迟趋势, 但没有通过 $P = 0.05$ 显著性检验 (图 5a)。晚稻安全齐穗期多年均值为 9 月 16 日, 最迟日期出现在 1975 年 10 月 1 日, 最早日期出现在 2013 年 9 月 4 日, 80% 保证率日期为 9 月 24 日 (表 1)。年代际变化看, 晚稻安全齐穗期呈小幅波动, 最小值 9 月 13 日, 出现在 20 世纪 1970s, 最大值 9 月 20 日, 出现在 21 世纪 2000s。

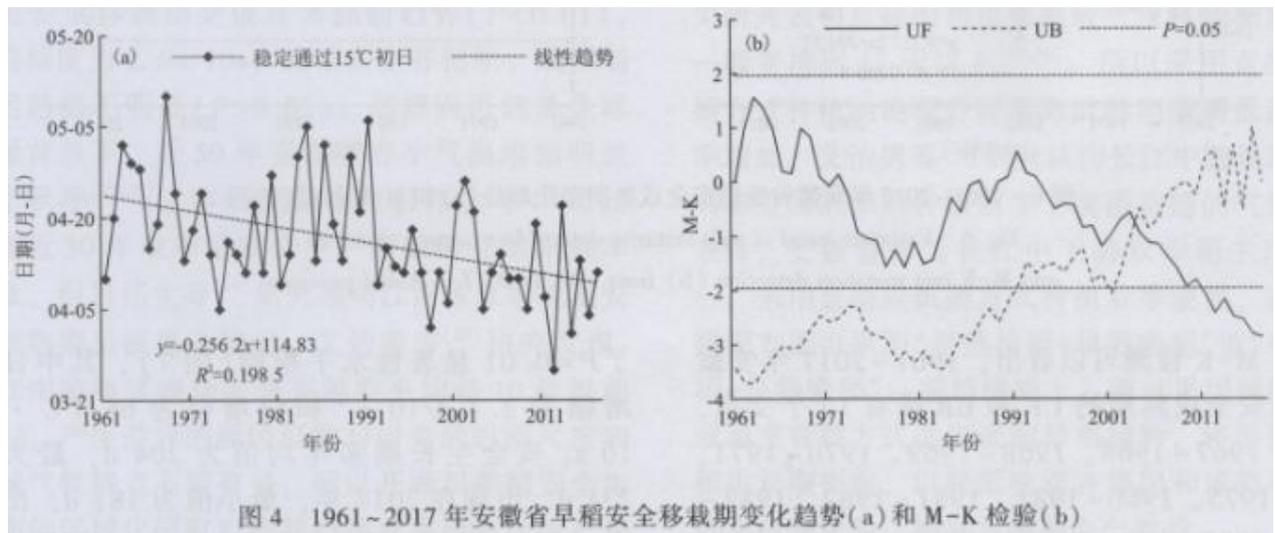


图 4 1961~2017 年安徽省早稻安全移栽期变化趋势 (a) 和 M-K 检验 (b)

由 M-K 检测可以看出, 1961~2017 年安徽省晚稻安全齐穗期的 UF 和 UB 曲线相交于 1994~1995 年之间, 且 UF 曲线在 2009 年超过了 $P_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线 (图 5b), 表明早稻安全齐穗期在 1995 年发生突变, 平均安全齐穗期突变后 (9 月 19 日) 较突变前 (9 月 15 日) 推迟了 4 天。

2.4 晚稻安全成熟期

研究表明, 晚稻灌浆期日平均气温低于 15°C 时, 灌浆速率明显减慢, 对产量产生直接影响。近 50 a, 安徽省晚稻安全成熟期呈不显著 ($P > 0.05$) 推迟趋势 (图 6a), 多年均值为 10 月 24 日, 最早日期出现在 1981 年 10 月 7 日, 最迟日期出现在 1998 年 11 月 12 日, 80% 保证率日期为 10 月 18 日 (表 1)。晚稻安全成熟期不同年代际间差别相对较小, 最小值为 10 月 22 日, 出现

在 20 世纪 1960s, 最大值为 10 月 29 日, 出现在 21 世纪 2000s 后(表 1)。

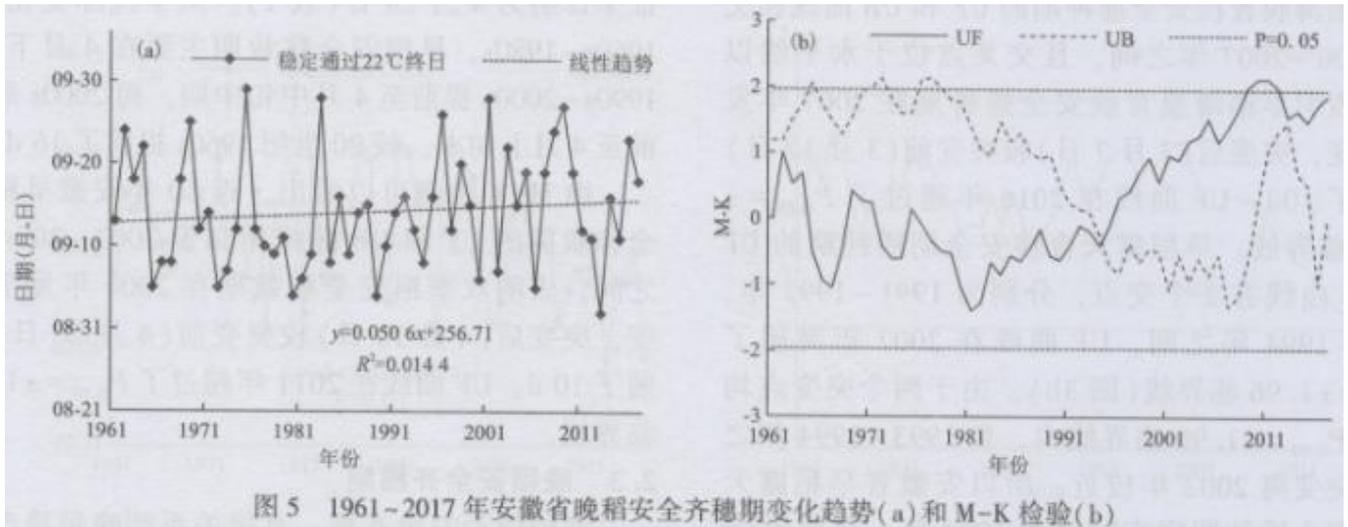


图 5 1961~2017 年安徽省晚稻安全齐穗期变化趋势(a)和 M-K 检验(b)

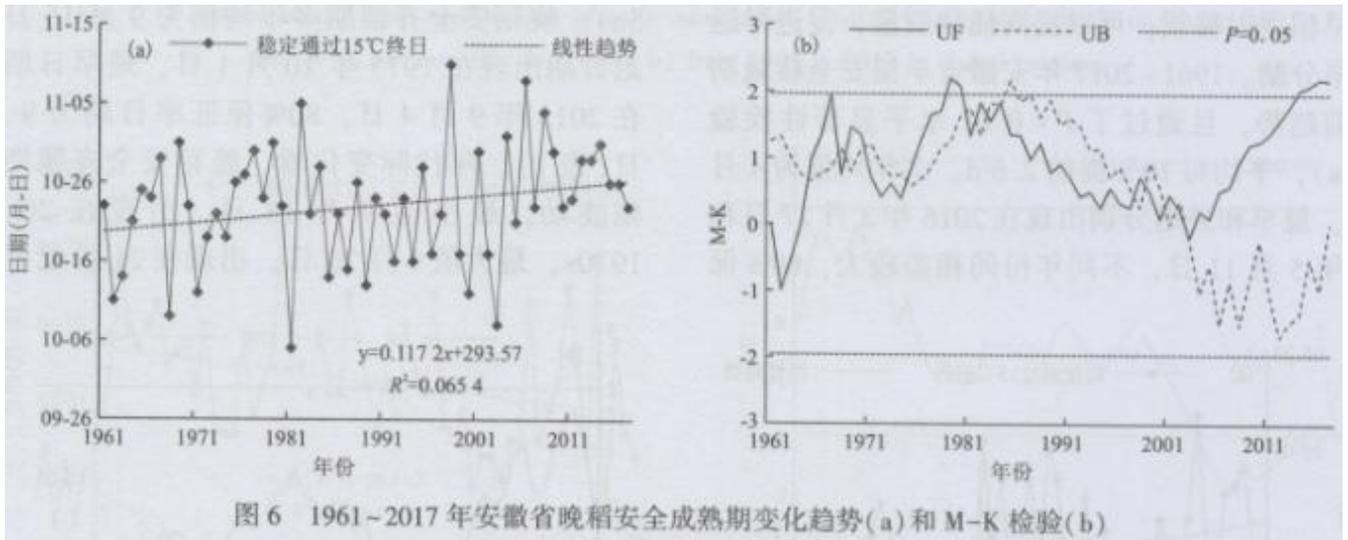


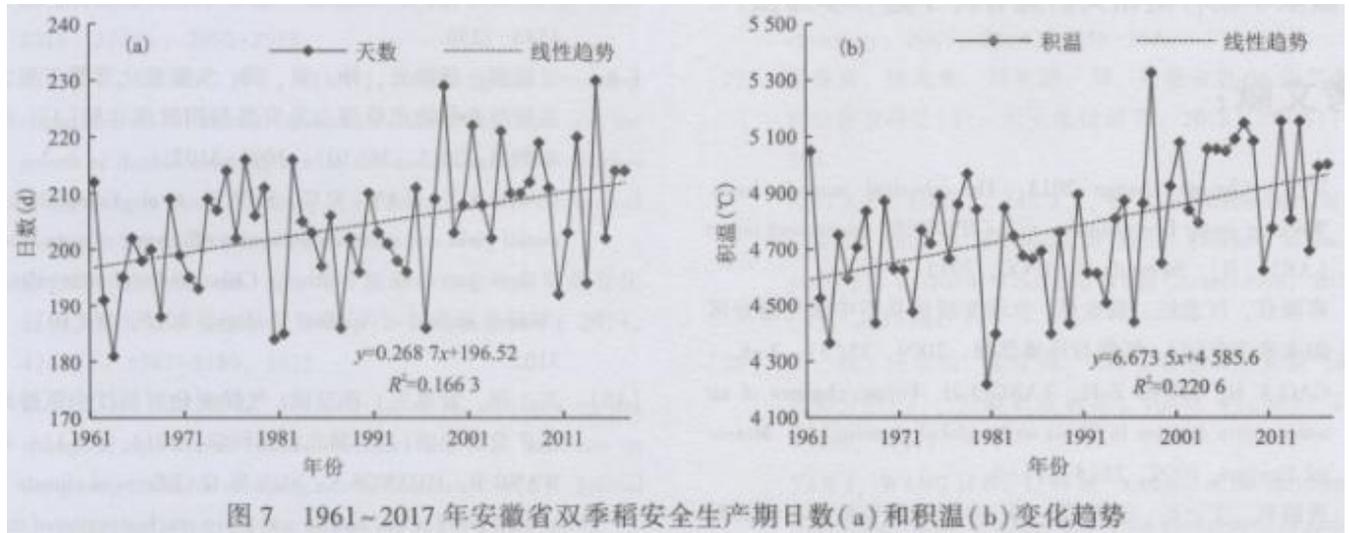
图 6 1961~2017 年安徽省晚稻安全成熟期变化趋势(a)和 M-K 检验(b)

由 M-K 检测可以看出, 1961~2017 年安徽省晚稻安全成熟期的 UF 和 UB 线有 12 个交点, 分别为 1967 ~1968、1968 ~1969、1970 ~1971、1974~1975、1980~ 1981、1981~1982、1982~1983、1983 ~1984、1984 ~1985、2000 ~ 2001、2001 ~ 2002 及 2002 ~2003 年, UF 曲线在 2014 年突破了 $P_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线(图 6b)。由于 12 个突变点均处于 $P_{0.05} = \pm 1.96$ 临界线内, 且 2002~2003 年之间的突变离 2014 年较近, 所以安徽省晚稻安全成熟期突变时间为 2003 年, 平均安全成熟期突变后(10 月 28 日)较突变前(10 月 24 日)推迟了 4d。

2.5 安全生长期

安全生长期是双季稻安全生长、品种选用等重要参考因素之一。近 50 年安徽省双季稻安全生长期日数、积温均呈增加趋势, 且通过了 $P = 0.01$ 显著性水平检验(图 7), 其中日数增幅为 2.7d/10a, 积温增幅为 $66.7^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$ 。安全生长期多年均值为 204 d, 最大值 231 d, 出现在 2014 年, 最小值为 181 d, 出现在 1963 年, 80%保证率日期为 195 d。积温增幅为 $66.7^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$, 多年均值为 $4779.2^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$, 最大值为 $5327.1^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$, 出现在 1998 年, 最小值 $4219.9^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$, 出现在 1980 年, 80%保证率日期为 $4596.4^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。从年代际变化看, 1960s~1990s 安徽省双季稻安全生长期日数和积温分别在 198~204 d 和 $4652.6 \sim 4763$ 。

7℃·d 内波动, 进入 21 世纪, 安全生长期日数和积温明显增加, 2000s 安全生长期日数和积温达到最大值, 分别为 211 d、4 983. 5℃·d, 2001~2017 年安全生长期日数和积温较 1961~2000 年分别增加 9 d 和 266. 4℃·d。



3 结论与讨论

(1) 1961~2017 年安徽省早稻安全播种期呈显著提前趋势 ($P<0.05$), 其中薄膜育秧提前幅度为 1.8d/10a, 露天育秧提前幅度为 1.5d/10a; 早稻安全移栽期呈极显著提前趋势 ($P<0.01$), 提前幅度为 2.6d/10a; 晚稻安全齐穗期、成熟期延迟趋势不明显 ($P>0.05$)。其原因可能是全球变暖背景下, 近 50 年安徽省春季气温增幅明显大于秋季^[27, 28]。本研究结论与吕伟生等^[16]对江西省近 30 年双季稻安全生产期的研究结果基本一致, 但吕伟生等^[16]研究表明江西省双季晚稻安全成熟期呈极显著推迟。艾治勇等^[29]研究发现, 长江中游地区晚稻安全齐穗期平均每 10 年提前 0.8d。产生差异的原因可能与研究的时间尺度和区域气候特点不同有关, 所以开展双季稻安全生产期的区域化研究对指导当地双季稻安全生产更具有针对性。

(2) 近 50 年, 安徽省双季稻安全生产期日数和积温呈极显著增加趋势 ($P<0.01$), 平均增幅分别为 2.7d/10a 和 66.7℃·d/10a。安全生长期日数和积温的增加对双季稻安全种植及品种选择具有积极作用, 一是在传统种植模式的基础上, 随着安全生长期日数的增加, 早稻播种出苗和晚稻齐穗、成熟因低温造成的损害概率减少; 二是在品种选择方面, 可将中早熟品种换成生育期相对较长、产量相对较高的中晚熟品种, 双季稻种植品种搭配可由之前的“早熟早稻+中熟晚稻”和“中熟早稻+中熟晚稻”向“中熟早稻+晚熟晚稻”转变。

(3) 近年来受劳动力成本提高、机械化推广应用等因素影响, 直播和机插等栽播方式在水稻种植中被广泛应用, 与传统移栽稻相比, 直播稻和机插稻的播种期推迟, 尤其晚稻更加明显。相关研究表明直播稻和机插稻较常规移栽稻播栽期一般要推迟 15 天以上^[30, 31], 所以采用直播或机插方式种植的晚稻齐穗期和成熟期遭遇低温的概率增加。艾治勇等^[29]研究认为长江中游地区并不具备发展双季稻种植制度下晚稻直播的气候资源条件。安徽省作为长江中下游双季稻主产区之一, 采用直播或机插方式种植双季晚稻, 在品种搭配方面可采用“早熟早稻+早熟晚稻”或“中熟早稻+早熟晚稻”; 栽培措施上, 通过采用薄膜育秧或温室育秧方式适当提前早稻播种, 将早稻和晚稻生长期提前, 以降低晚稻齐穗期和成熟期遭受低温冷害风险, 提高双季稻生产效益。

(4) 本研究主要分析了安徽双季稻安全生产界限温度及安全生产期日数和积温变化特征, 但双季稻的种植和安全生产除受上述条件影响外, 光照、水分及气象灾害等也是双季稻高产稳产的主要影响因子。相关研究表明, 1960~2009 年长江中游地区双季稻温度生长期日照呈减少趋势, 可能造成光合作用减弱并最终影响产量, 而降水量呈微弱增加趋势, 利于双季稻生产^[32]。此外, 双季早稻育秧期的低温冷害和“倒春寒”、灌浆乳熟期高温热害及晚稻抽穗扬花期“寒露风”等对双季稻安全生产也造成

不同程度影响^[33~35], 所以安徽双季稻种植相关研究有待于进一步加强。

参考文献:

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

[2]高晓获, 江志红, 杨金虎. 全球变暖情景下中国气温分区的未来变化[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(5): 1-6. GAO X H, JIANG Z H, YANG J H. Future changes of air temperature division in China under global warming[J]. Meteo-rol Environ, 2009, 25(5) : 1-6.

[3]唐国利, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国近百年温度曲线的对比分析[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(2): 71-78. TANGGL, DING Y H, WANG S W, et al. Comparative a-nalysis of the time series of surface air temperature over China for the last 100 years [J]. Advances in Climate Change Re-search, 2009, 5(2) : 71-78.

[4]李勇, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变暖对中国热带作物种植北界和寒害风险的影响分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43: 2477-2484. LIY, YANGXG, WANGWF, et al. The possible effects of climate warming on geographical shift in safe northern limit of tropical crops and the risk analysis of cold damage in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43: 2477-2484.

[5]葛道阔, 金之庆. 气候及其变率变化对长江中下游稻区水稻生产的影响[J]. 中国水稻科学, 2009, 23: 57-64. Gil D K, JIN L Q. Impacts of climate change and its variability on rice production in the middle and lower valley of the YangtzeRiver, China [J] . Chinese Journal of Rice Science, 2009,23: 57-64.

[6]岳伟, 曹雯, 杨太明, 等. 安徽省一季稻生长季热量资源变化特征及其对产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(11) : 222-228. YUEW, CAO W, YANGTM, et al. Variable characteristics of heat resources of single-season nee growing seasons in Anhui Province and its impacts on rice yield[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(11) : 222-228.

[7]王胜, 徐敏, 宋阿伟, 等. 1961-2012年安徽省24节气气候变化及冬小麦和一季稻物候期的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(9) : 2390-2397. WANG S, XU M, SONG A W, et al. Climate changes in 24solar terms and responses of winter wheat and single-season rice phenophases in Anhui Province of East China in 1961 - 2012[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32 (9): 2390 -2397.

[8]王连喜, 刘静, 李琪, 等. 气候变化对宁夏水稻的影响及适应性研究[JL. 地球科学进展, 2013, 28(11): 1248-1256. WANG L X, LIU J, LI Q, et al. Simulation study of the cli-mate change impact on the rice and its adaptability in Ningxia Province [J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(11):1248-1256.

[9]王晓煜, 杨晓光, 孙爽, 等. 气候变化背景下东北三省主要粮食作物产量潜力及资源利用效率比较[J]. 应用生态学报, 2015, 26(10) : 3091-3102. WANG X Y, YANG X G, SUN S, et al. Comparison of po-tential yield and resource utilization efficiency of main food crops in three provinces of Northeast China under climate change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(10) : 3091-3102.

[10]王保, 黄思先, 孙卫国. 气候变化对长江中下游地区水稻产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(1): 43-51. WANG B,

HUANGS X, SUN W G. Effects of climate change on rice yield of the middle and lower reaches region of the Yan-gtze river [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(1):43-51.

[11]胡慧芝, 刘晓琼, 王建力. 气候变化下汉中南盆地水稻产量变化研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(4): 609-620. HU H Z, LIU X Q, WANG J L. Study on the change of riceyield in Hanzhong basin under climate change [J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(4) : 609-620.

[12]宋水华, 宋良姿. 界限温度初终日期的确定及意义[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(S1): 113-114. SONG o H, SONG L L. Determining initial and final date of steadily above the agricultural threshold temperature and its sig-nificance [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2009, 3(5)1:113-114.

[13]胡毅, 李萍. 应用气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2007. HU Y, LI P. Applied Meteorology [M]. Bey me: China Me-teorological Press, 2007.

[14]霍治国, 李茂松, 王丽, 等. 气候变暖对中国农作物病虫害的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1926-1934. HUO Z G, LI M S, WANG L, et al. Impacts of climate war-ming on crop diseases and pests in China[J]. Scientia Agricul-tura Sinica, 2012, 45(10) : 1926-1934.

[15]岳伟, 曹雯, 姚筠, 等. 安徽省沿江地区棉花生长季气候变化特征及其对产量的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(9) : 1308-1314. YUE W, CAO W, YAO Y, et al. Climate changes in cotton growing season along the Yangtze river in Anhui province and its influence on cotton yield [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(9) : 1308-1314.

[16]吕伟生, 曾勇军, 石床华, 等. 近 30 年江西双季稻安全生产期及温光资源变化[J]. 中国水稻科学, 2016, 30(3) : 323-334. LV W S, ZENG Y J, SHI Q H, et al. Changes in safe pro-duction dates and heat-light resources of double cropping rice in Jiangxi Province in recent 30 years[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2016, 30(3) : 323-334.

[17]谢远玉, 黄淑娥, 田俊, 等. 长江中下游热量资源时空演变特征及其对双季稻种植的影响[J]. 应用生态学报. 2016, 27(9) : 2950-2958. XIEY Y, HUANG S E, TIAN J, et al. Spatial-temporal characteristics of the rmal resources and its influence on the growth of double cropping rice in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(9) : 2950-2958.

[18]廖忠辉, 林明丽, 黄娟, 等. 湘潭市农业气候资源变化分析及其对双季稻生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(17) : 5587-5589, 5622. LIAO Z H, LIN M L, HUANG J, et al. Analysis on the change of agricultural climate resources and it ' s influence on the growth of double cropping rice in Xiangtan City[J]. Journal of Anhui Agri. Sci, 2014, 42(17) : 5587-5589, 5622.

[19]曲曼丽. 农业气候实习指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990: 1-8. QU M L. Agrocumate practice instruction [M] Beijing : Bei-jing Agricultural University Publishers, 1990: 1-8.

[20]高亮之, 郭鹏, 张立中, 等. 中国水稻的光温资源与生产力[J]. 中国农业科学, 1984, 17(1): 17-23. GAO L Z, GUO P, ZHANG L Z, et al. Light and heat re-sources and potential productivity of nee in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1984, 17(1) : 17-23.

-
- [21]涂方旭. 广西水稻主要生育期气候条件分析[J]. 广西农业科学, 2006, 37(4) : 370-373. TU F X. Analysis on climate conditions in main nee growth and development stages in Guangxi [J]. Guangxi Agricultural Sci-ences, 2006, 37(4) : 370-373.
- [22]高亮之, 李林, 金之庆. 中国水稻的气候资源与气候生态研究[J]. 农业科技通讯, 1986(4): 5-8. GAO L Z, LI L, JING Z Q. Climatic resources and climatic e-cology research of Chinese rice[J]. Bulletin of Agricultural Sci-ence and Technologi, 1986(4) : 5-8.
- [23]程德瑜, 高安, 古建泉. 农业气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1994, 53-54. CHENG D Y, GAO A, GU J Q. Agricultural climatology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1994: 53-54.
- [24]魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 40-67. WEI F Y. Modern technology of climate statistical diagnosis and prediction [M]. Beijing : China Meteorological Press, 2007 : 40-67.
- [25]符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4) : 482-493. FU C B, WANG Q. The deinition and detection of the abrupt climatic change[J]. Scientia Atmospherica sinica, 1992, 16(4) : 482-493.
- [26]张伟, 闫敏华, 陈泮勤, 等. 吉林省农作物生长季降水资源的时空分布特征[J]. 中国农业气象, 2007, 28(4): 359-363. ZHANG W, YANMH, CHEN P Q, et al. Characteristics of temporal and spatial distribution of precipitation during crop growing season in Jilin Province [J]. Chinese Journal of Agrom-eteorology, 2007, 28(4) : 359-363.
- [27]任秀真, 徐光来, 刘永婷, 等. 安徽省近 56 年气候要素时空演变特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 287-294. REN XZ, XU GL, LIUYT, et al. Characteristics of spatio-temporal variation oi climate in Anhui Province in recent doyears[J] .Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(5): 287-294.
- [28]闫俊, 王海功, 李红梅. 气候变暖背景下安徽气温变化趋势分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(36): 13953-13955, 13971. YAN J, WANG H G, LI H M. Analysis of the variation of av-erage temperature in Anhui under the background of global war-ming[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(36): 13953-13955, 13971.
- [29]艾治勇, 郭夏宇, 刘文祥, 等. 长江中游地区双季稻安全生产日期的变化[J]. 作物学根, 2014, 40(7): 1320-1329. AIZY, GUO X Y, LIU W X, et al. Analysis on possible in-fluences of agricultural climate resources change on double-sea-son rice production [J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(7) : 1320-1329.
- [30]李世峰, 徐云, 刘蓉蓉. 气候变化对粳稻安全齐穗和安全成熟期的影响[J]. 上海农业学报, 2015, 31(4): 110-114. LI S F, XU Y, LIU R R. climate change impacts on safe dates for full heading and maturity in Japonica rice [J]. Acta Agriculturae Shang hai, 2015, 31(4) : 110-114.
- [31]张祖建, 张洪熙, 杨建昌, 等. 江苏近 50 年粳稻安全齐穗期的变化[J]. 作物学根, 2011, 37: 146-151. ZHANG Z J, ZHANG H X, YANG J C, et al. Changes of safe dates for full heading in japonica rice over past 50 years in Jiangsu Province [J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(1) : 146-151.
- [32]艾治勇, 郭夏宇, 刘文祥, 等. 农业气候资源变化对双季稻生产的可能影响分析[J]. 自然资源报, 2014, 29(12) : 2089-2102. AIZY, GUO X Y, LIU W X, et al. Analysis on possible in-fluences of aencul - tural climate resources change

on double -season riceproduction [J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(12) : 2089-2102.

[33]肖宇龙, 邱在辉, 林洪鑫, 等. 苗期低温对早稻品种产量相关性状的影响[J]. 江西农业学报, 2014(7): 1-4. XIAO Y L, QIU Z H, LIN H X, et al. Effects of low temper-ature at seedling stage on yield-related traits of early rice varie-ties[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2014(7) : 1-4.

[34]田俊, 崔海建. 江西省双季早稻灌浆乳熟期高温热害影响评估[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 67-73. TIAN J, CUI H J. Impact assessment on high temperature dam-age to early rice at filling-milk stage in Jiangxi province [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2015, 36(1) : 67-73.

[35]林洪鑫, 胡启锋, 肖宇龙等. 寒露风对双季晚稻品种产量构成和品质的影响[J]. 江西农业学报, 2016, 28(5): 20-23. LIN H X, HU Q F, XIAO Y L, et al. Effect of cold dew wind on quality, yield and yield components of double cropping late rice varieties [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2016, 28(5): 20-23.