

安徽省 10—12 月积温时空变化特征及冬小麦适宜播期分析

邓骋¹, 赵莉¹, 杨太明², 陈金华², 包琪¹, 白群升³, 何贤芳¹, 林勇翔¹, 汪建来¹

(1. 安徽省农业科学院作物研究所, 安徽合肥 230001; 2. 安徽省农业气象中心, 安徽合肥 230031;

3. 阜南县现代高效循环农业产业园建设运营中心, 安徽阜阳 236300)

摘要: 为确定安徽省冬小麦适宜播期, 利用 1971—2021 年安徽省分布于淮北、江淮及沿江麦区的 50 个气象站点观测数据, 分析了 10—12 月积温时空变化特征, 并基于叶龄积温法分析了前 30 a (1971—2000 年) 与后 21 a (2001—2021 年) 各地冬小麦冬前生长至不同叶龄对应的播期。结果表明, 1971—2021 年, 安徽省及其各麦区 10—12 月每月积温及总积温均呈显著或极显著线性增加趋势, 安徽省 10—12 月每月积温及总积温上升速率分别为 8.6、9.6、7.8 和 26.1 °C · (10 a)⁻¹, 安徽省及其各麦区 10—12 月每月积温上升速率呈现出 11 月 > 10 月 > 12 月规律; 沿江麦区 12 月积温上升速率 [6.5 °C · (10 a)⁻¹] 明显低于淮北 [8.4 °C · (10 a)⁻¹] 及江淮 [8.3 °C · (10 a)⁻¹] 麦区; 淮北和江淮麦区 10—12 月总积温上升速率均为 26.6 °C · (10 a)⁻¹, 沿江麦区略低 [24.9 °C · (10 a)⁻¹]。安徽冬小麦冬前生长至相同叶龄时, 后 21 a 播期比前 30 a 总体推迟 1~4 d。淮北、江淮和沿江麦区后 21 a 适宜播期比前 30 a 分别平均推迟 2.61、2.86 和 2.07 d。后 21 a 淮北麦区半冬性、弱冬性品种适宜播期分别为 10 月 16—21 日、10 月 12—16 日, 江淮麦区春性、半冬性品种适宜播期分别为 10 月 25—30 日、10 月 21—25 日, 沿江麦区春性品种适宜播期为 10 月 30 日—11 月 4 日。

关键词: 安徽省; 冬小麦; 冬前积温; 时空变化; 适宜播期

中图分类号: S512.1; S314

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)01-0073-07

Analysis of the Spatio-Temporal Variation Characteristics of Accumulated Temperature from October to December and the Suitable Sowing Date for Winter Wheat in Anhui Province

DENG Cheng¹, ZHAO Li¹, YANG Taiming², CHEN Jinhua², BAO Qi¹, BAI Qunsheng³,
HE Xianfang¹, LIN Yongxiang¹, WANG Jianlai¹

(1. Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230001, China; 2. Anhui Agrometeorological Center, Hefei, Anhui 230031, China; 3. Operating Center for Constructing Modern Efficient Circular Agricultural Industrial Park in Funan County, Fuyang, Anhui 236300, China)

Abstract: To determine the suitable sowing date for winter wheat in Anhui Province, the spatio-temporal variation characteristics of accumulated temperature from October to December were analyzed using observation data from 50 meteorological stations distributed in the wheat areas of Huaibei, Jianghuai, and along the Yangtze River from 1971 to 2021. Based on accumulated temperature requirements for different pre-winter leaf ages, the sowing dates for winter wheat in the first 30 years (1971—2000) and the recent 21 years (2001—2021) were analyzed corresponding to different leaf ages. The results showed that from 1971 to 2021, the monthly and total accumulated temperature from October to December in Anhui Province and its wheat areas showed a significant linear increase trend. The in-

收稿日期: 2024-01-18 修回日期: 2024-03-11

基金项目: 安徽省小麦良种联合攻关项目; 沿淮地区麦稻周年绿色高效均衡增产技术与示范项目; 阜南县现代高效循环农业产业园汪建来工作室项目; 古井酿酒专用小麦新品种选育及配套技术研究项目

第一作者 E-mail: 923932639@qq.com (邓骋)

通讯作者 E-mail: 2804011975@qq.com (汪建来)

crease rates of monthly and total accumulated temperature in Anhui Province from October to December were 8.6, 9.6, 7.8, and 26.1 °C per decade, respectively. The increase rate of monthly accumulated temperature in Anhui Province and its wheat areas from October to December showed a pattern ranking as November > October > December. The increase rate of accumulated temperature in the wheat area along the Yangtze River in December (6.5 °C per decade) was significantly lower than that in the Huaibei (8.4 °C per decade) and Jianghuai (8.3 °C per decade) wheat areas. The increase rate of total accumulated temperature from October to December in the Huaibei and Jianghuai wheat areas was 26.6 °C per decade, while the wheat area along the Yangtze River was slightly lower (24.9 °C per decade). When Anhui winter wheat grows to the same leaf age before winter, the sowing date in the past 21 years was generally delayed by 1–4 days compared to the first 30 years. The suitable sowing dates for wheat in the Huaibei, Jianghuai, and along the Yangtze River areas were delayed by an average of 2.61, 2.86, and 2.07 days in the past 21 years, compared to the first 30 years, respectively. The suitable sowing dates for semi-winter and weak winter varieties in the Huaibei wheat area in the past 21 years were October 16–21 and October 12–16, respectively. The suitable sowing dates for spring and semi-winter varieties in the Jianghuai wheat area are October 25–30 and October 21–25, respectively. The suitable sowing dates for spring wheat varieties in the wheat area along the Yangtze River are October 30–November 4.

Keywords: Anhui Province; Winter wheat; Pre-winter accumulated temperature; Spatio-temporal change; Suitable sowing date

小麦是安徽省第一大粮食作物,2023 年安徽小麦种植面积和总产均居中国第三位,为保障中国国家粮食安全发挥了重要作用。以淮河、长江为界,安徽省自北向南大体分为淮北、江淮和沿江小麦生产区(下文简称为淮北、江淮和沿江麦区)。适期播种或适宜的冬前积温对小麦产量形成具有重要作用^[1,2],能够使小麦充分利用冬前光热水等自然资源,积累较多的干物质,形成壮苗越冬,为实现高产打好基础^[3,4]。播种过早(冬前积温过高)容易造成冬前小麦旺长、营养物质消耗增加、拔节期和孕穗期提前、抗寒性降低、易倒伏等问题^[5-7];播期过迟(冬前积温过少)则会造成冬前弱苗、地上生物量降低^[8]、穗数减少^[9,10]等不利影响。

全球气候正在显著变暖,1951–2021 年中国地表年平均气温上升速率为 $0.26\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,高于同期全球平均水平^[11]。全球气候变化背景下,作物如何适应环境变化是农业面临的重大科学问题。关于安徽积温时空变化特征及冬小麦适宜播期分析已有所研究^[12-15],但存在着气象站点选取较少、较少利用近十年气象数据、很少将 10–12 月积温时空变化特征与冬小麦适播期研究相结合等问题。本研究利用 1971–2021 年安徽省 50 个气象站点的 10–12 月逐日平均温度数据,分析了 10–12 月积温时空变化特征,同时采

用叶龄积温法^[16]对安徽省冬小麦适宜播期进行探讨,以期科学应对气候变暖,为安徽省小麦安全生产、优质高产及品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1971 年 1 月 1 日–2021 年 12 月 31 日安徽省 50 个气象站点 10–12 月逐日平均温度由安徽省气象局提供,其中 22 个气象站点位于淮北麦区(宿州、砀山、萧县、灵璧、泗县、淮北、濉溪、亳州、涡阳、利辛、蒙城、蚌埠、怀远、固镇、五河、阜阳、太和、临泉、界首、阜南、颍上、凤台),14 个气象站点位于江淮麦区(淮南、寿县、天长、凤阳、定远、全椒、六安、霍邱、舒城、合肥、长丰、肥西、肥东、庐江),14 个气象站点位于沿江麦区(巢湖、芜湖、无为、芜湖县、马鞍山、含山、和县、当涂、安庆、宿松、望江、铜陵、枞阳、宣城)。

1.2 冬小麦适宜播期计算

根据小麦播种至出苗约需积温 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$,冬前每长出 1 片叶子约需积温 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[17,18],可以计算出冬小麦冬前生长到 4 叶 1 心、5 叶 1 心、6 叶 1 心、7 叶 1 心和 8 叶 1 心所需总积温分别为 420、495、570、645 和 720 °C。安徽省半冬性、弱冬性和春性品种均有种植,其安全越冬叶龄分别为 6

叶 1 心—7 叶 1 心、7 叶 1 心—8 叶 1 心和 5 叶 1 心—6 叶 1 心。

安徽省小麦越冬始期自北向南一般为 12 月下旬初至 12 月底,由于各地区每年此阶段气温变化规律存在差异(如存在越冬后又恢复生长的情况),且 12 月下旬气温低,对冬前积温及叶龄影响不大,加上使用的数据年份与地点较多,为便于计算分析,本研究将越冬始期统一为 12 月 31 日。根据小麦冬前生长至不同叶龄所需积温,以 12 月 31 日为基点,反向累加积温,倒推出各地冬小麦冬前生长至不同叶龄对应的播期。

将 1971 年 1 月 1 日—2021 年 12 月 31 日分成 2 个时间段(1971 年 1 月 1 日—2000 年 12 月 31 日和 2001 年 1 月 1 日—2021 年 12 月 31 日),以便于对比上世纪后 30 年和本世纪近 20 年播期变化,下文分别称之为“前 30 a”和“后 21 a”。

1.3 数据分析

使用 Microsoft Excel 2021 进行数据整理、作图和显著性检验分析。

2 结果与分析

2.1 安徽省 10—12 月积温时空变化特征

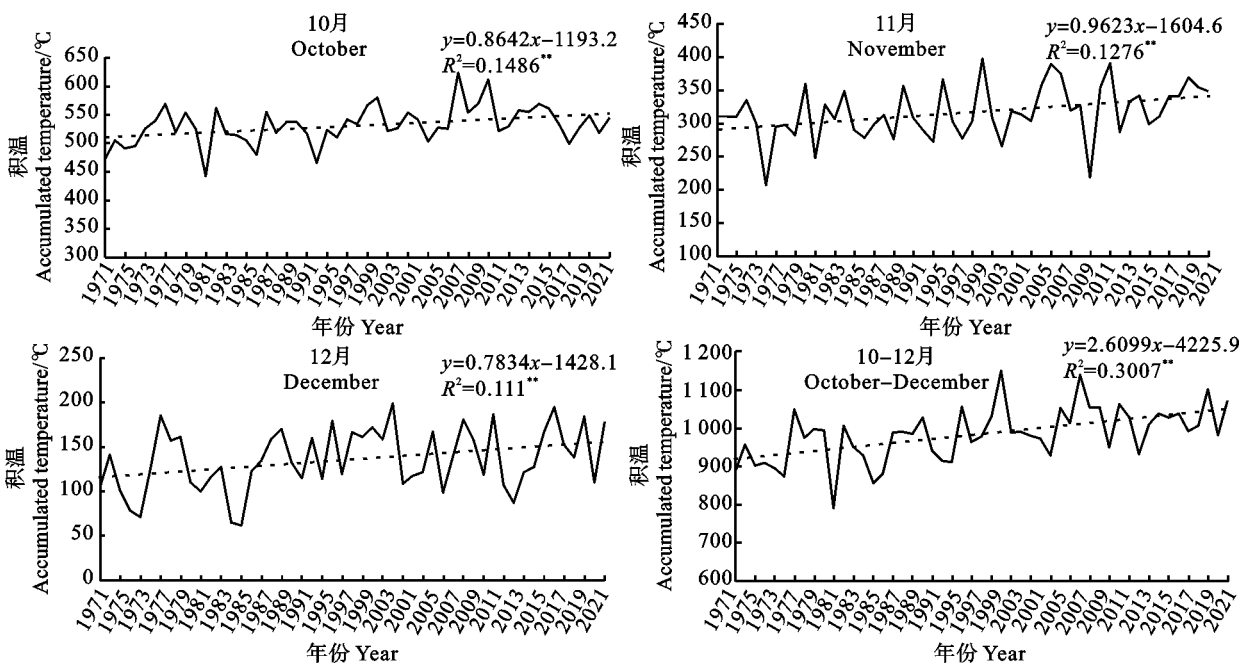
从图 1 来看,1971—2021 年,安徽 10、11 月积温及 10—12 月总积温均呈极显著线性增加趋势(R 分别为 0.385、0.357 和 0.548, $P < 0.01$),

12 月积温呈显著线性增加趋势($R = 0.333, P < 0.05$);10—12 月每月积温每 10 a 分别增加 8.6、9.6、7.8 °C,11 月积温增加速率最快,10 月积温次之,12 月积温增加速率最慢;10—12 月每 10 a 总积温增加 26.1 °C。

1971—2021 年,各麦区 10—12 月每月积温及总积温均呈显著或极显著线性增加趋势(图 2)。淮北麦区 10—12 月每月积温及总积温上升速率分别为 9.0、9.2、8.4 和 26.6 °C · (10 a)⁻¹,江淮麦区对应指标分别为 8.2、10.1、8.3 和 26.6 °C · (10 a)⁻¹,沿江麦区对应指标分别为 8.5、9.9、6.5 和 24.9 °C · (10 a)⁻¹,各麦区 10—12 月每月积温上升速率总体也表现为 11 月 > 10 月 > 12 月;沿江麦区 12 月积温上升速率明显低于淮北及江淮麦区;淮北和江淮麦区 10—12 月总积温上升速率持平,沿江麦区略低。10—12 月每月积温及总积温自北向南均逐渐增加。

2.2 安徽省冬小麦冬前生长至不同叶龄对应的播期

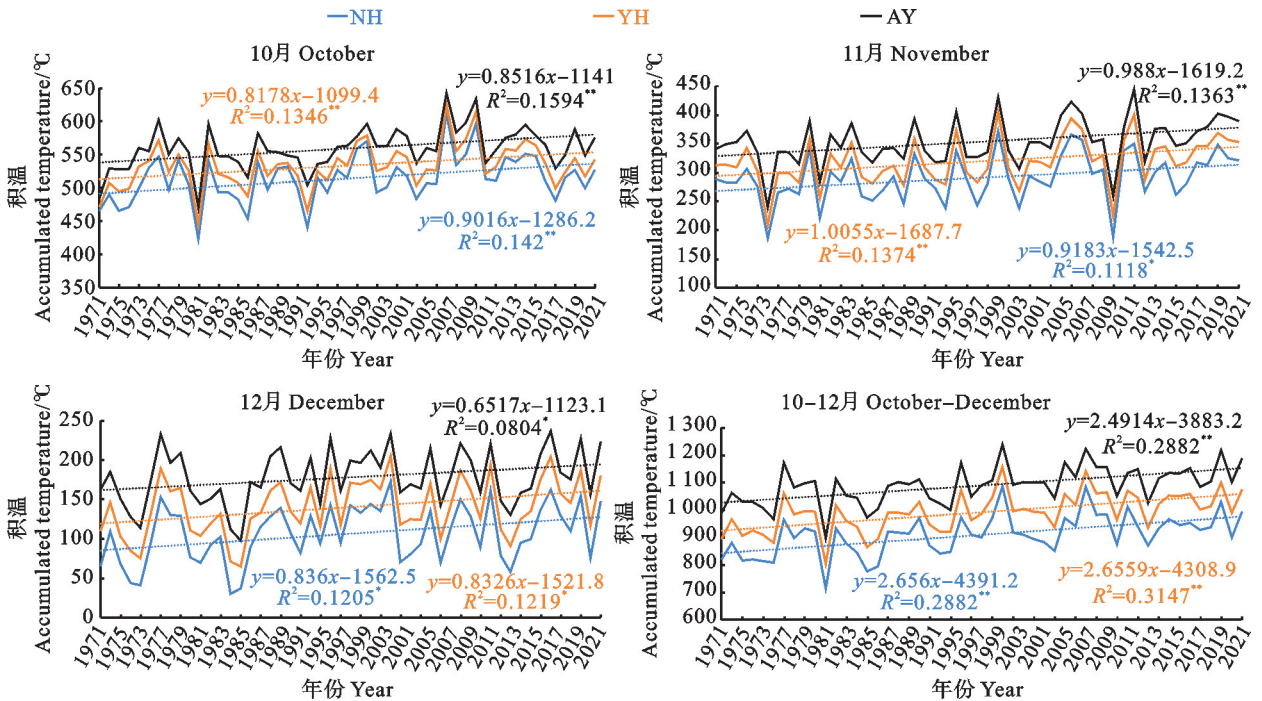
利用叶龄积温法计算结果(表 1)表明,安徽淮北麦区主要种植半冬性、弱冬性品种,其后 21 a 适宜播期分别为 10 月 16—21 日、10 月 12—16 日;江淮麦区主要种植春性、半冬性品种,其后 21a 适宜播期分别为 10 月 25—30 日、10 月 21—25 日;沿江麦区主要种植春性品种,其后 21a 适宜播期为 10 月 30 日—11 月 4 日。



$n = 51; * : P < 0.05, ** : P < 0.01.$

图 1 安徽省 1971—2021 年 10—12 月每月积温及总积温年际间变化趋势

Fig. 1 Annual change of monthly and total accumulated temperature of October to December in Anhui Province from 1971 to 2021



NH: 淮北麦区; YH: 江淮麦区; AY: 沿江麦区。n=51; * : P<0.05, ** : P<0.01.

NH: Wheat region in the north of the Huai River; YH: Wheat region between Yangtze River and Huai River; AY: Wheat region along the Yangtze River. n=51; * : P<0.05, ** : P<0.01.

图 2 安徽省不同麦区 1971—2021 年 10—12 月每月积温及总积温年间变化趋势

Fig. 2 Annual change of monthly and total accumulated temperature of October to December in different wheat growing regions of Anhui Province from 1971 to 2021

对表 1 中数据进一步分析发现,受全球变暖影响,安徽不同气象站点所在地区冬小麦冬前生长至相同叶龄时,后 21 a 播期比前 30 a 一般要推迟 1~4 d。后 20 a 与前 30 a 相比,淮北麦区适宜播期平均推迟 2.61 d,江淮麦区适宜播期平均推迟 2.86 d,沿江麦区适宜播期平均推迟 2.07 d。安徽省各麦区适宜播期平均推迟天数差异不大,但也呈现出江淮麦区>淮北麦区>沿江麦区的趋势。

3 讨论

安徽省冬小麦从播种到越冬始期大部分时间处于 10—12 月,因此分析这 3 个月积温历年变化规律对研究如何针对气候变化调整冬小麦播期具有重要意义。本研究表明,1971—2021 年安徽省 10—12 月每月积温均呈显著或极显著增加趋势,上升速率分别为 8.6、9.6、7.8 °C · (10 a)⁻¹,意味着安徽省 10—12 月每月平均温度上升速率分别为 0.28、0.32、0.25 °C · (10 a)⁻¹。任秀真等^[12]基于 1960—2015 年安徽省 17 个气象站及周边 9 个气象站逐日平均气温,分析得出 10—12

月每月平均温度升速分别为 0.28、0.02、0.15 °C · (10 a)⁻¹,11、12 月平均温度升速与本研究结果存在差异(尤其是 11 月),这可能是选取的气象站点和年份范围存在差异造成的,但都能反映出近几十年来安徽省 10—12 月平均温度呈现大幅上升趋势。本研究中,安徽省 10—12 月总积温呈极显著波动增加趋势,上升速率为 26.1 °C · (10 a)⁻¹,按照此趋势每 30 a 将增加 78.3 °C,增加的积温可以满足冬小麦冬前增加 1 片叶龄^[19],因此全球气候变暖背景下,安徽冬小麦适播期应较传统播期适当推迟,以避免冬前旺长。李德等^[15]利用宿州市 1954—2007 年气候数据,分析得出气候变暖背景下,宿州市冬小麦适播期为 10 月 15—25 日(比传统播期推迟 7~8 d)。本研究得出,宿州市冬小麦半冬性品种适播期为 10 月 17—21 日,弱冬性品种为 10 月 12—17 日,与李德研究结果较为吻合,也说明本研究采用的叶龄积温法分析安徽小麦适宜播期具有较高准确性。

冬小麦—夏玉米一年两熟为安徽淮北地区主要耕作制度,全球气候变化背景下,该区秋、冬季

表 1 安徽省冬小麦冬前生长至不同叶龄对应播期(月-日)

Table 1 Sowing dates of winter wheat corresponding to different pre-winter leaf ages in Anhui Province(month-day)

| 小麦生产区 Wheat growing region | 气象站点 Meteorological station | 1971—2000 年(前 30 a) 1971—2000 (The first 30 years) | | | | | 2001—2021 年(后 21 a) 2001—2021 (The last 21 years) | | | | |
|--|-----------------------------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | 4 叶 1 心 4-leaf stage | 5 叶 1 心 5-leaf stage | 6 叶 1 心 6-leaf stage | 7 叶 1 心 7-leaf stage | 8 叶 1 心 8-leaf stage | 4 叶 1 心 4-leaf stage | 5 叶 1 心 5-leaf stage | 6 叶 1 心 6-leaf stage | 7 叶 1 心 7-leaf stage | 8 叶 1 心 8-leaf stage |
| | | | | | | | | | | | |
| 淮北麦区 Wheat region in the north of the Huai River | 宿州 Suzhou | 10-28 | 10-22 | 10-18 | 10-13 | 10-9 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 | 10-12 |
| | 砀山 Dangshan | 10-24 | 10-18 | 10-13 | 10-9 | 10-5 | 10-24 | 10-19 | 10-14 | 10-9 | 10-5 |
| | 萧县 Xiaoxian | 10-24 | 10-19 | 10-14 | 10-10 | 10-5 | 10-26 | 10-20 | 10-16 | 10-11 | 10-7 |
| | 灵璧 Lingbi | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 10-12 | 10-8 | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-15 | 10-10 |
| | 泗县 Sixian | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 10-13 | 10-8 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 | 10-12 |
| | 淮北 Huabei | 10-28 | 10-22 | 10-17 | 10-13 | 10-9 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-16 | 10-12 |
| | 濉溪 Suixi | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 10-13 | 10-8 | 10-28 | 10-23 | 10-18 | 10-14 | 10-9 |
| | 亳州 Bozhou | 10-26 | 10-21 | 10-16 | 10-11 | 10-7 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 10-12 |
| | 涡阳 Guoyang | 10-28 | 10-23 | 10-18 | 10-13 | 10-9 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 | 10-13 |
| | 利辛 Lixin | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-15 | 10-10 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 | 10-13 |
| | 蒙城 Mengcheng | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-15 | 10-11 | 10-31 | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 10-13 |
| | 蚌埠 Bengbu | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 10-13 | 11-3 | 10-28 | 10-23 | 10-19 | 10-15 |
| | 怀远 Huaiyuan | 11-3 | 10-28 | 10-23 | 10-19 | 10-14 | 11-3 | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-15 |
| | 固镇 Guzhen | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-14 | 10-10 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 10-13 |
| | 五河 Wuhe | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 10-11 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 10-13 |
| | 阜阳 Fuyang | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-16 | 10-12 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 10-13 |
| | 太和 Taihe | 10-29 | 10-23 | 10-18 | 10-14 | 10-9 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 10-13 |
| | 临泉 Linquan | 10-30 | 10-24 | 10-19 | 10-15 | 10-10 | 11-2 | 10-28 | 10-23 | 10-18 | 10-14 |
| 界首 Jieshou | 10-29 | 10-23 | 10-18 | 10-14 | 10-9 | 10-31 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 10-12 | |
| 阜南 Funan | 10-31 | 10-26 | 10-20 | 10-16 | 10-11 | 11-3 | 10-28 | 10-24 | 10-19 | 10-14 | |
| 颍上 Yingshang | 10-31 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 10-11 | 11-3 | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-15 | |
| 凤台 Fengtai | 11-1 | 10-26 | 10-21 | 10-17 | 10-12 | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | |
| 平均 Average | | 10-28 | 10-23 | 10-18 | 10-14 | 10-9 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-16 | 10-12 |
| 江淮麦区 Wheat region between Yangtze River and Huai River | 淮南 Huaiman | 11-3 | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-15 | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-23 | 10-18 |
| | 寿县 Shouxian | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 10-11 | 11-2 | 10-28 | 10-23 | 10-18 | 10-14 |
| | 天长 Tianchang | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 10-13 | 11-5 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 |
| | 凤阳 Fengyang | 10-30 | 10-24 | 10-19 | 10-15 | 10-10 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 10-11 |
| | 定远 Dingyuan | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-16 | 10-12 | 11-3 | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-15 |
| | 全椒 Quanjiao | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-23 | 10-18 |
| | 六安 Lu'an | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 11-7 | 11-1 | 10-28 | 10-23 | 10-18 |
| | 霍邱 Huoqiu | 11-2 | 10-28 | 10-23 | 10-18 | 10-14 | 11-5 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 |
| | 舒城 Shucheng | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-16 | 10-12 | 11-6 | 10-31 | 10-26 | 10-22 | 10-17 |
| | 合肥 Hefei | 11-5 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-23 | 10-18 |
| | 长丰 Changfeng | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 | 10-12 | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 |
| | 肥西 Feixi | 11-3 | 10-28 | 10-23 | 10-19 | 10-14 | 11-4 | 10-29 | 10-24 | 10-20 | 10-15 |
| | 肥东 Feidong | 11-4 | 10-29 | 10-24 | 10-19 | 10-15 | 11-7 | 11-1 | 10-27 | 10-23 | 10-18 |
| 庐江 Lujiang | 11-5 | 10-31 | 10-26 | 10-21 | 10-17 | 11-8 | 11-2 | 10-28 | 10-24 | 10-19 | |
| 平均 Average | | 11-2 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 10-13 | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-21 | 10-16 |
| 沿江麦区 Wheat region along the Yangtze River | 巢湖 Chaohu | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 11-8 | 11-3 | 10-29 | 10-24 | 10-20 |
| | 芜湖 Wuhu | 11-8 | 11-3 | 10-29 | 10-24 | 10-20 | 11-10 | 11-5 | 10-31 | 10-26 | 10-22 |
| | 无为 Wuwei | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 11-8 | 11-3 | 10-29 | 10-24 | 10-20 |
| | 芜湖县 Wuhu county | 11-7 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 11-9 | 11-4 | 10-30 | 10-26 | 10-21 |
| | 马鞍山 Maanshan | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 11-10 | 11-4 | 10-30 | 10-26 | 10-22 |
| | 含山 Hanshan | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-20 | 10-16 | 11-6 | 10-31 | 10-26 | 10-22 | 10-17 |
| | 和县 Hexian | 11-6 | 10-31 | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 11-9 | 11-4 | 10-30 | 10-26 | 10-21 |
| | 当涂 Dangtu | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-22 | 10-18 | 11-9 | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-21 |
| | 安庆 Anqing | 11-10 | 11-5 | 10-31 | 10-26 | 10-22 | 11-11 | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-23 |
| | 宿松 Susong | 11-10 | 11-5 | 10-31 | 10-26 | 10-22 | 11-12 | 11-7 | 11-2 | 10-29 | 10-24 |
| | 望江 Wangjiang | 11-9 | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-21 | 11-11 | 11-6 | 11-1 | 10-27 | 10-23 |
| | 铜陵 Tongling | 11-9 | 11-3 | 10-29 | 10-25 | 10-20 | 11-10 | 11-5 | 10-31 | 10-27 | 10-22 |
| | 枞阳 Zongyang | 11-9 | 11-4 | 10-30 | 10-26 | 10-21 | 11-10 | 11-5 | 10-31 | 10-27 | 10-22 |
| | 宣城 Xuancheng | 11-6 | 10-31 | 10-27 | 10-22 | 10-17 | 11-8 | 11-2 | 10-28 | 10-24 | 10-19 |
| 平均 Average | | 11-7 | 11-2 | 10-28 | 10-23 | 10-19 | 11-9 | 11-4 | 10-30 | 10-25 | 10-21 |

积温持续增加,日照时数减少^[20],为适应气候变化,研发了“双晚”技术(夏玉米适当晚收,冬小麦播期适当推迟)^[21],使玉米较大幅度增产且小麦不减产^[22]。研究发现,适度推迟冬小麦播期,通过选用大穗型品种、增加播种量,依靠主茎成穗,维持较高产量同时可显著提高周年光温水等资源利用效率^[23]。本研究利用安徽省 1971—2021 年 50 个气象站点 10—12 月逐日平均温度,使用叶龄积温法分析表明,受全球变暖影响,安徽不同气象站点所在地区冬小麦冬前生长至相同叶龄时后 21 a 播期比前 30 a 一般要推迟 1~4 d,各地区具体推迟时间可参考本研究结果,适当推迟播种期。此外,育种上可以通过选育冬性更强品种,适应安徽省沿淮、淮北 10 月上旬降雨频率较高和暖冬的气候特点,培育适宜适度早播的品种,同时根据播期适当调整播量,确保小麦冬前安全生产和高产稳产。

4 结论

1971—2021 年,安徽省及其各麦区(淮北、江淮和沿江麦区)10—12 月每月积温及总积温呈显著或极显著线性增加趋势,安徽省 10—12 月每月积温及总积温上升速率分别为 8.6、9.6、7.8 和 26.1 °C · (10 a)⁻¹,安徽省及其各麦区 10—12 月每月积温上升速率呈现出 11 月 > 10 月 > 12 月规律;沿江麦区 12 月积温上升速率明显低于淮北及江淮麦区;淮北和江淮麦区 10—12 月总积温上升速率均为 26.6 °C · (10 a)⁻¹,沿江麦区略低[24.9 °C · (10 a)⁻¹]。安徽冬小麦冬前生长至相同叶龄时,后 21 a 播期比前 30 a 总体推迟 1~4 d。淮北、江淮、沿江麦区后 21 a 适宜播期比前 30 a 分别平均推迟 2.61、2.86、2.07 d。后 21 a 淮北麦区半冬性、弱冬性品种适宜播期分别为 10 月 16—21 日、10 月 12—16 日,江淮麦区春性、半冬性品种适宜播期分别为 10 月 25—30 日、10 月 21—25 日,沿江麦区春性品种适宜播期为 10 月 30 日—11 月 4 日。安徽省冬小麦适播期自北向南逐步推迟,适宜品种由弱冬性过渡到春性。为充分利用气候变化特点,实现周年均衡增产,可以适当推迟玉米成熟收获期,增强小麦冬性水平。

参考文献:

- [1]李巧云,年力,刘万代,等.冬前积温对河南省小麦冬前生长发育的影响[J].中国农业气象,2010,31(4):564.
LI Q Y,NIAN L,LIU W D,*et al.* Effects of accumulated temperature before winter on growth and development of wheat in Henan Province [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010,31(4):564.
- [2]马尚宇,王艳艳,刘雅男,等.播期、播量和施氮量对小麦干物质积累、转运和分配及产量的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(3):375.
MA S Y,WANG Y Y,LIU Y N,*et al.* Effect of sowing date, planting density, and nitrogen application on dry matter accumulation, transfer, distribution, and yield of wheat [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020,28(3):375.
- [3]李世峰,任海建,徐云,等.近 60 年江苏沿江地区冬小麦适宜播种期的变化[J].上海农业学报,2021,37(1):123.
LI S F,REN H J,XU Y,*et al.* Changes of suitable sowing dates of winter wheat in riverside areas of Jiangsu Province in the past 60 years [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2021,37(1):123.
- [4]刘阿康,马瑞琦,王德梅,等.冬前积温对北部冬麦区小麦苗期生长的影响[J].应用生态学报,2023,34(3):680.
LIU A K,MA R Q,WANG D M,*et al.* Effect of accumulated temperature before overwintering on wheat seedling growth status in north winter wheat area of China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023,34(3):680.
- [5]闫璐,聂勇,王超.冬小麦冬前旺长类型及形成相应类型的积温条件[J].作物杂志,2008(1):29.
YAN L,NIE Y,WANG C. Prosperous types of winter wheat before winter and accumulated temperature conditions corresponding to the types [J]. *Crops*, 2008(1):29.
- [6]胡焕焕,刘丽平,李瑞奇,等.播种期和密度对冬小麦品种河农 822 产量形成的影响[J].麦类作物学报,2008,28(3):491.
HU H H,LIU L P,LI R Q,*et al.* Effect of sowing date and planting density on the yield formation of a winter wheat cultivar Henong 822 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2008,28(3):491.
- [7]刘红杰,任德超,葛君,等.积温和播种密度对小麦越冬前生长状况的影响[J].作物杂志,2024(1):141.
LIU H J,REN D C,GE J,*et al.* Effects of accumulated temperature and planting density on pre-winter growth of wheat [J]. *Crops*, 2024(1):141.
- [8]陈先冠,冯利平,马雪晴,等.不同播期和灌水条件下冬小麦生物量变化与产量模拟[J].农业机械学报,2021,52(10):349.
CHEN X G,FENG L P,MA X Q,*et al.* Biomass change and yield simulation of winter wheat under different sowing dates and irrigation conditions [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021,52(10):349.
- [9]金彦刚,丁锦峰,袁权,等.播期和密度对江苏淮北强筋小麦籽粒产量和品质的影响[J].中国农学通报,2022,38(18):1.
JIN Y G,DING J F,YUAN Q,*et al.* Sowing date and planting density of strong-gluten wheat in HuaiBei Area of Jiangsu: Effects on grain yield and quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022,38(18):1.
- [10]赵莉,何贤芳,都斌斌,等.播期和品种对沿淮晚播稻茬小麦产量和产值的影响[J].麦类作物学报,2021,41(5):616.

- ZHAO L, HE X F, DU B B, *et al.* Effects of sowing date and variety on yield and output value of late-sown wheat after rice in the region along Huaihe River [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(5): 616.
- [11] 陈国宁. 中国是全球气候变化敏感区[J]. 生态经济, 2022, 38(10): 9.
- CHEN G N. China is a sensitive area of global climate change [J]. *Ecological Economy*, 2022, 38(10): 9.
- [12] 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, 290.
- REN X Z, XU G L, LIU Y T, *et al.* Characteristics of spatio-temporal variation of climate in Anhui Province in recent 56 years [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(5): 287, 290.
- [13] 刘永婷, 徐光来, 尹周祥, 等. 全球变化背景下安徽近 55 年气温时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4): 682.
- LIU Y T, XU G L, YIN Z X, *et al.* Spatio-temporal change of surface air temperature in Anhui Province in the context of global warming from 1960 to 2014 [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(4): 682.
- [14] 张红, 黄勇, 刘慧娟. 安徽省近 30 年气候变化的空间特征[J]. 生态环境学报, 2012, 21(12): 1936.
- ZHANG H, ZHANG H, LIU H J. Spatial characteristics of climate changes in Anhui Province during the past 30 years [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(12): 1936.
- [15] 李德, 杨大明, 张学贤. 气候变暖背景下宿州冬小麦适播期的确定[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 254.
- LI D, YANG T M, ZHANG X X. Determination of optimum sowing date of winter wheat in Suzhou under global warming [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2012, 33(2): 254.
- [16] 韦宁波, 刘易科, 佟汉文, 等. 湖北省小麦适宜播期的叶龄积温法确定[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(19): 4530.
- WEI N B, LIU Y K, TONG H W, *et al.* Determination of the optimal wheat sowing dates in Hubei Province using accumulated thermal time requirements for wheat leaves appearance method [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 53(19): 4530.
- [17] 杨洪宾, 李春光, 徐成忠, 等. 济宁市秋冬积温变迁及其对冬小麦生长的影响[J]. 中国农业气象, 2008, 29(1): 20.
- YANG H B, LI C G, XU C Z, *et al.* Changes of accumulated temperature during autumn and winter and their impacts on winter wheat growth in Jining city of Shandong Province [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2008, 29(1): 20.
- [18] 白洪立, 孟淑华, 王立功, 等. 积温变迁对冬小麦夏玉米一年两熟播期的影响[J]. 作物杂志, 2009(3): 55.
- BAI H L, MENG S H, WANG L G, *et al.* Effects of changes of accumulated temperature on sowing dates of winter wheat and summer maize [J]. *Crops*, 2009(3): 55.
- [19] 成兆金, 陈蕾, 徐淑米. 日照地区气候背景下冬小麦适播期分析[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(3): 94.
- CHENG Z J, CHEN L, XU S M. Analysis of suitable sowing period of winter wheat in Rizhao Area under climate background [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2018, 34(3): 94.
- [20] 周宝元, 葛均筑, 孙雪芳, 等. 黄淮海麦玉两熟区周年光温资源优化配置研究进展[J]. 作物学报, 2021, 47(10): 1844.
- ZHOU B Y, GE J Z, SUN X F, *et al.* Research advance on optimizing annual distribution of solar and heat resources for double cropping system in the Yellow-Huaihe-Haihe Rivers Plain [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(10): 1844.
- [21] 王娜, 王靖, 冯利平, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作区采用“两晚”技术的产量效应模拟分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(5): 611.
- WANG N, WANG J, FENG L P, *et al.* Modeling the impact of “double-delay” technology on yield of wheat-maize cropping system in the North China Plain [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2015, 36(5): 611.
- [22] 高海涛, 王育红, 孟战赢, 等. 小麦-玉米双晚种植对周年产量和资源利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(6): 1102.
- GAO H T, WANG Y H, MENG Z Y, *et al.* Effects of later sowing of winter wheat and later harvest of summer maize cropping system on yield and resources use efficiency of whole-year [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(6): 1102.
- [23] WANG B, ZHANG Y, HAO B, *et al.* Grain yield and water use efficiency in extremely-late sown winter wheat cultivars under two irrigation regimes in the North China Plain [J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153695.