

宋艳玲,周广胜,郭建平,等. 不同播期对玉米先玉 335 产量和品质的影响. 应用气象学报,2024,35(5):619-628.
DOI: 10.11898/1001-7313.20240509

不同播期对玉米先玉 335 产量和品质的影响

宋艳玲^{1)2)3)*} 周广胜¹⁾²⁾³⁾ 郭建平¹⁾³⁾ 潘亚茹¹⁾³⁾ 杨孟娇⁴⁾ 田靳峰²⁾³⁾

李香雪⁵⁾ 孟祥祎⁶⁾ 兰惠婷⁶⁾ 蒋玮光⁶⁾ 隋丹⁶⁾

周灵好⁶⁾ 史俊辰⁶⁾ 聂畅⁶⁾ 满意⁶⁾

¹⁾(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

²⁾(气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044)

³⁾(中国气象局与中国农业大学农业应对气候变化联合实验室,北京 100081)

⁴⁾(郑州大学地球科学与技术学院,郑州 450052)

⁵⁾(南京信息工程大学水文与水资源工程学院,南京 210044)

⁶⁾(吉林省榆树市气象局,榆树 130400)

摘 要

利用 2018—2023 年吉林榆树农业气象试验站玉米大田分期播种试验研究不同播期对玉米生长发育、产量构成和籽粒品质的影响,探讨改变玉米播期作为农业适应气候变化措施的可行性。研究发现:玉米不同播期,玉米生长期积温利用效率不同,第 1 播期积温最高,第 4 播期积温比第 1 播期平均减少 8.3%。玉米不同播期对生长期长度造成影响,玉米第 1 播期生长期长度比第 2 播期(正常播期)平均延长 7.5 d,第 3 播期较正常播期生长期缩短 5.7 d,第 4 播期较正常播期生长期缩短 13.8 d。玉米不同播期对产量结构造成影响,玉米播期提前 10 d,6 年试验中有 2 年玉米百粒重增加,4 年减少;玉米播期延迟 10 d 和 20 d,玉米百粒重平均减少 4.8%和 8.7%。玉米播期提前 10 d,单株玉米籽粒数增加 0.2%,播期延迟 10 d 和 20 d,籽粒数分别减少 6.0%和 9.3%。总体上,玉米播期延迟 10 d 和 20 d,玉米单产减产 10.9%和 17.1%。玉米播期提前 10 d,平均单产接近正常播期单产,部分年份单产增加。玉米播期对玉米籽粒品质影响不大。气候变暖,东北部分地区玉米播期适当提前可以作为适应气候变化措施。

关键词: 玉米;播期;适应气候变化措施

引 言

气候变化问题已成为人类共同面临的严峻挑战,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 6 次评估报告指出,气候系统变暖是毋庸置疑的。自 19 世纪末全球气温持续升高,1951—2022 年全球表面平均温度升温速率约为 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,极端气候事件明显增多^[1-2]。到 21 世纪中期,所有排放情景下全球平均气温还将持续升高,除非二氧化碳和其他温室气体大幅减排,否则 21 世纪全球升温将

突破 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[2-3]。气候变化背景下极端气候事件频率将增大、强度将增强^[3-4],将对全球大部分地区农业产生负面影响^[3]。我国平均气温也持续升高,1971—2022 年我国地表气温呈显著上升趋势,升温速率达到 $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,高于全球平均水平,且北方增温大于南方,冬季大于夏季,夜间大于白天。同时,中国区域极端天气气候事件发生频率增加,气候变暖对我国农业产生的负面影响大于正面影响^[5]。

玉米是我国主要粮食作物,2023 年我国玉米播种面积为 $4.307\times 10^7\text{ hm}^2$,占粮食作物播种面积的

2024-06-13 收到,2024-07-10 收到再改稿。

资助项目:中国气象局创新发展专项(CXFZ2024J049,CXFZ2023J043)

* 邮箱: songyl@cma.gov.cn

36.4%；总产量达到 2.77×10^8 t，占我国粮食总产量的40.4%^[6]。因此玉米总产量波动将影响我国粮食安全。玉米产量受品种、施肥量、耕种和管理措施、气象条件和病虫害等多种因素影响，其中气象条件和病虫害严重影响玉米产量^[7]。我国科技工作者对气象条件及气象灾害对玉米生长发育和产量的影响机制开展了大量研究。热量条件决定不同熟性玉米的分布，郭建平^[8]、王贺然^[9]建立了玉米热量指数模型，霍治国^[10]分析了基于热量条件的玉米熟型分布特征，此外，夏季高温热害和低温冷害对玉米生长和产量影响显著^[10-13]。水份条件直接影响玉米生长发育和产量形成，大范围干旱经常导致玉米减产，大量研究涉及玉米叶片含水特征、玉米蒸散发、玉米冠层对降水的截留^[14-16]、玉米干旱指数的构建和改进^[17-23]，玉米暴雨洪涝灾害指数和时空特征^[24]等方面。还有研究针对玉米整个生长季开展气候适宜度和复合灾害指数研究工作^[25-27]。此外，还探讨了气候变暖背景下灾害特征及对玉米产量的影响机制^[28-31]。

气候变暖背景下我国大部分地区升温明显，特别是东北地区，同时低温冷害、高温热害、干旱等时空分布特征发生变化，人们虽然对玉米生长发育期间灾害指数及气候变化对农业影响机制开展了大量研究，但针对我国农业生产应对气候变化措施的研究报道较少。2018—2023年在气候变化敏感区东北吉林榆树开展玉米大田分期播种试验，玉米品种连续6年采用当地主栽品种，将玉米播期分为4期，研究气候变暖背景下不同玉米播期对玉米生长发育、产量构成以及玉米籽粒品质影响，探讨改变玉米播期作为农业适应气候变化措施的可行性。

1 试验方法与数据

1.1 试验区概况

试验在吉林榆树农业气象试验站大田进行，榆树农业试验站位于吉林省榆树市(44.1°N, 126.5°E)，海拔高度为195.2 m，属于季风性中温带半湿润气候，1981—2010年年平均气温为5.0℃，降水量为565 mm，地形为平原，地势平坦，土层深厚，土地肥沃，耕作层土壤类型以粉壤土为主。

1.2 试验设计

为了研究我国东北地区农业适应气候变化措施，2018—2023年在吉林榆树开展玉米大田分期播种试验，玉米品种连续6年采用当地主栽品种玉米

先玉335，将玉米播期分为4期，设置4个试验。试验小区排列采用拉丁方设计，6年试验区耕作方式和灌溉等田间管理措施与当地大田一致。

第1播期：玉米播期比周围玉米大田正常播期提前10 d，2018年、2019年、2020年、2021年、2022年和2023年均于4月21日播种。播种量均与当地正常播期播种量一致。

第2播期：玉米播期与周围大田玉米播期一致(正常播期)，2018年、2019年、2020年、2021年、2022年和2023年均于5月1日播种。播种量与第1播期玉米播种量保持一致，玉米生长期间的大田管理措施与第1播期一致。

第3播期：玉米播期比周围大田玉米正常播期延迟10 d，2018年、2019年、2020年、2021年、2022年和2023年均于5月11日播种，播种量与第1播期玉米播种量保持一致，玉米生长期间的大田管理措施与第1播期一致。

第4播期：玉米播期比周围大田玉米正常播期延迟20 d，2018年、2019年、2020年、2021年、2022年和2023年均于5月21日播种，玉米播种量与第1播期播种量保持一致，玉米生长期间的大田管理措施与第1播期一致。

1.3 观测要素

从玉米播种开始，对玉米各个发育期进行观测，包括播种、出苗、三叶、七叶、拔节、抽穗、开花、吐丝、乳熟、成熟期普遍期日期，观测方法按农业气象观测规范^[32]进行。在玉米成熟期对产量进行测定，在每个玉米试验区连续取20穗，观测茎粗(单位：mm)、果穗粗(单位：cm)、果穗长(单位：cm)、双穗率(单位：%)、单株籽粒数、百粒重(单位：g)、茎秆重(单位：g)、籽粒与茎秆比。气象要素为站内气象站观测数据，包括玉米从播种期到成熟期的逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量和日照时数等。

1.4 籽粒品质测定方法

玉米成熟后，在每个玉米试验区连续取样，籽粒晒干后，对籽粒品质进行测定，包括籽粒淀粉含量、蛋白质含量等，测定方法参照国标法测定，淀粉含量采用国家标准酶水解法测定。蛋白质含量采用国家标准(GB 5009.5—2016)^[33]凯氏定氮法测定，方法如下：

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 0.0140}{m \times V_3 / 100} \times F \times 100. \quad (1)$$

式(1)中：X为试样中蛋白质的含量(单位： $\text{g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$)， V_1 为试样消耗盐酸标准滴定溶液的体积(单位：mL)， V_2 为空白试剂消耗盐酸标准滴定溶

液的体积(单位:mL), V_3 为吸取消化液的体积(单位:mL), c 为盐酸标准滴定溶液的浓度(单位: $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), m 为称样量(单位:g), F 为氮换算成蛋白质的系数。

2 结果分析

2.1 不同播期玉米生长期积温和降水变化

玉米第1播期播种时间比周围大田播种时间提前10 d,2018—2023年播种时间均为4月21日,由于每年气候条件不同,玉米成熟时间不同,2018年、2019年玉米成熟期为9月18日,2020—2023年成熟期分别为9月20日、9月18日、9月20日和9月24日。玉米第2播期与周围大田一致,为5月1日,2018—2023年成熟期分别为9月23日、9月20日、9月22日、9月20日、9月22日和9月26日。玉米第3播期比正常播期延迟10 d,为5月11日,2018—2023年成熟期分别为9月25日、9月26日、

9月26日、9月22日、9月26日和9月28日。玉米第4播期比正常播期延迟20 d,为5月21日,2018—2022年成熟期均为9月28日,2023年成熟期为9月30日。

不同播期玉米生长期积温(大于等于 10°C)不同。2018年第1播期积温最高,达到 $3035.6^\circ\text{C} \cdot \text{d}$,其他3个播期积温依次减少,第4个播期积温最低,仅为 $2683.1^\circ\text{C} \cdot \text{d}$,第2播期、第3播期和第4播期分别比第1播期积温偏低2.4%、6.4%和11.6%。2019—2022年也是第1播期积温最高,其他3个播期积温依次减少。2023年第2播期积温最高,达到 $2993.4^\circ\text{C} \cdot \text{d}$,第1播期积温其次,为 $2969.7^\circ\text{C} \cdot \text{d}$,第3播期和第4播期积温依次减少,比第1播期分别减少3.7%和7.7%(图1)。

玉米播期无论提前10 d,还是延后10 d和20 d,玉米生长期内降水量变化不大(图2)。例如,2018年第1播期玉米生长期内降水量为 379.1mm ,第2播期、第3播期和第4播期玉米生长期内降水量分别为

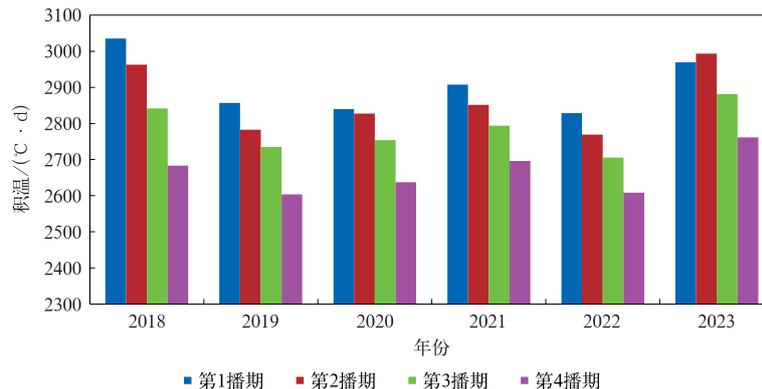


图1 2018—2023年玉米不同播期生长期积温(大于等于 10°C)

Fig. 1 Accumulated temperature(no less than 10°C) for different sowing dates of corn from 2018 to 2023

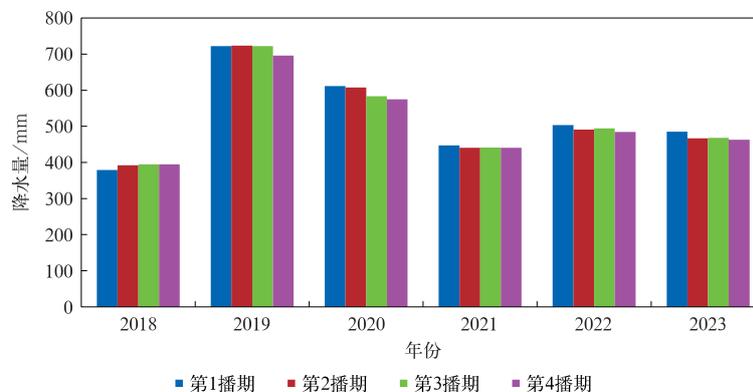


图2 2018—2023年玉米不同播期生长期降水量

Fig. 2 Precipitation for different sowing dates of corn from 2018 to 2023

391.9 mm、394.7 mm 和 394.7 mm。2019 年降水量较多,第 2 播期降水量最多,为 723.3 mm,第 4 播期降水量最少,为 695.8 mm,比第 2 播期偏少 3.8%。

总体上,在气候变暖背景下,玉米播期提前,热量资源会得到更有效的利用,第 1 播期玉米生长期中积温最多,平均达到 2906.3 °C·d,第 2 播期比第 1 播期平均积温减少 1.4%,第 3 播期比第 1 播期平均积温减少 4.2%,第 4 播期玉米生长期中积温最低,比第 1 播期平均减少 8.3%。但不同播期玉米生长期中降水量变化不大。

2.2 不同播期对玉米生长发育和产量结构影响

玉米不同播期导致玉米不同发育期气温、降水量、日照时数等不同,特别是关键生长期(开花灌浆

期)积温和降水量不同,会影响玉米生长发育进程、产量以及产量结构。玉米从播种到成熟期的日数为生长期,大田试验研究发现气候变暖背景下播期提前玉米生长期延长。由图 3 可见,2018 年,第 1 播期玉米生长期为 151 d,第 2 播期、第 3 播期和第 4 播期玉米生长期依次缩短,分别为 146 d、139 d 和 131 d,第 4 播期比第 1 播期延迟 30 d,生长期缩短 20 d。其他年份结果相似,2019 年、2020 年、2021 年、2022 年和 2023 年第 4 播期比第 1 播期玉米生长期分别缩短 20 d、22 d、20 d、22 d 和 24 d。平均而言,玉米第 1 播期比正常播期生长期延长 7.5 d,第 3 播期比正常播期生长期缩短 5.7 d,第 4 播期生长期缩短 13.8 d。

由图 4 可见,玉米播期延迟 10 d 和 20 d 玉米百

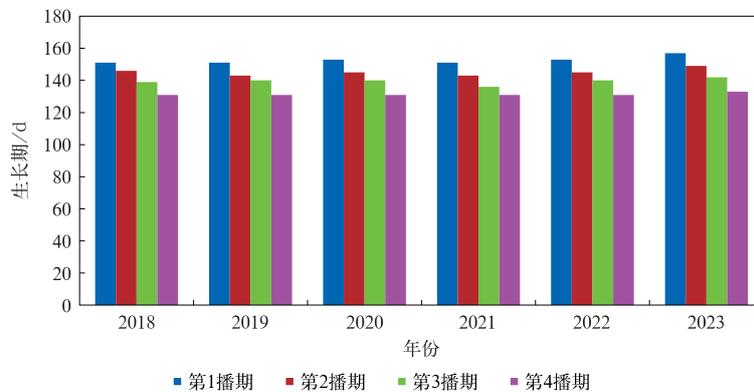


图 3 2018—2023 年玉米不同播期生长期

Fig. 3 Growing season length for different sowing dates of corn from 2018 to 2023

粒重普遍偏低。2018 年,第 1 播期玉米百粒重为 42.7 g,第 2 播期、第 3 播期和第 4 播期玉米百粒重持续降低,相对第 1 播期分别减少 4.7%、5.9% 和 11.3%。2019 年和 2020 年第 2 播期玉米百粒重最大,延迟 10 d 和 20 d 播种百粒重偏低,2019 年第 2 播期百粒重为 53.4 g,播期延迟 10 d 和 20 d 百粒重分别减少 5.5% 和 6.7%。2020 年第 2 播期玉米百粒重为 41.0 g,第 3 播期和第 4 播期玉米百粒重分别减少 8.4% 和 9.5%。2021 年第 1 播期玉米百粒重最大,第 2 播期、第 3 播期和第 4 播期分别比第 1 播期百粒重减少 2.5%、6.8% 和 7.7%。2022 年和 2023 年第 2 播期玉米百粒重最大,第 3 播期和第 4 播期玉米百粒重减少,2022 年分别减少 6.0% 和 18.4%,2023 年分别减少 3.1% 和 5.8%。总体上,玉米播期提前 10 d,6 年试验中有 2 年玉米百粒重增加,4 年减少,播期延迟 10 d 百粒重比正常播期平均减少 4.8%,播期延迟 20 d 百粒重平均减少 8.7%。

玉米单株籽粒数是单产主要构成因子。由图 5 可见,不同播期对玉米单株籽粒数构成影响明显。6 年试验中,第 1 播期有 1 年单株籽粒数最多,第 2 播期有 5 年单株籽粒数最多,但播期延迟 10 d 和 20 d 玉米单株籽粒数普遍偏少。2018 年第 1 播期单株籽粒数最多,为 696 个;第 2 播期、第 3 播期和第 4 播期分别比第 1 播期减少 12.3%、20.5% 和 23.2%。2019 年第 2 播期单株籽粒数最多,第 3 播期和第 4 播期分别比第 2 播期减少 5.2% 和 11.3%。2020 年第 2 播期单株籽粒最多,第 3 播期和第 4 播期比第 2 播期减少 5.4% 和 6.9%。2021 年第 1 播期和第 2 播期单株籽粒数相近,第 3 播期和第 4 播期比第 2 播期偏少 6.9% 和 9.2%。2022 年和 2023 年第 2 播期单株籽粒数最多,2022 年第 3 播期和第 4 播期比第 2 播期偏少 5.7% 和 7.5%。2023 年第 3 播期和第 4 播期比第 2 播期偏少 3.9% 和 8.7%。平均而言,玉米播期提前 10 d,单株玉米籽粒数比正常播期平均增加 0.2%;播期

延迟 10 d,单株玉米籽粒数比正常播期减少 6.0%,播 期延迟 20 d,单株玉米籽粒数比正常播期减少 9.3%。

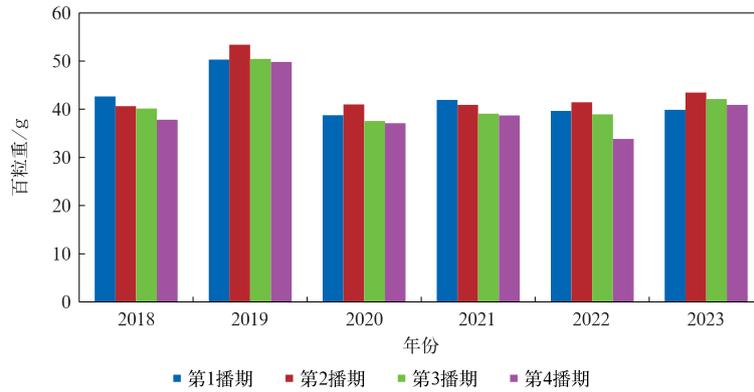


图 4 2018—2023 年玉米不同播期玉米百粒重

Fig. 4 100 grain weight for different sowing dates of corn from 2018 to 2023

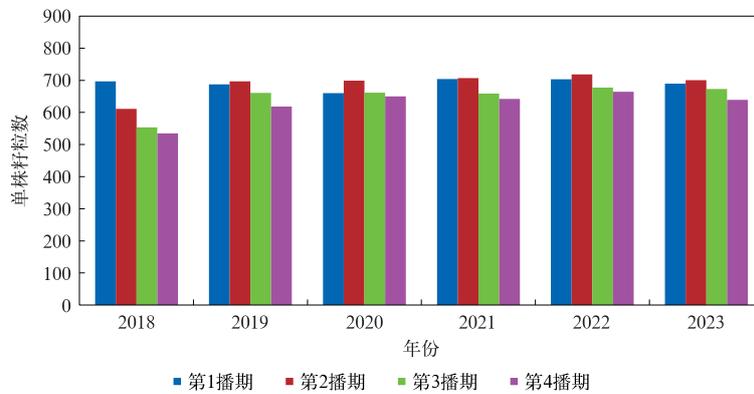


图 5 2018—2023 年玉米不同播期玉米单株籽粒数

Fig. 5 Number of grains per plant for different sowing dates of corn from 2018 to 2023

玉米产量由田间种植密度、单株籽粒数和百粒重构成,不同播期对玉米单产影响明显。由图 6 可见,第 1 播期和第 2 播期玉米产量较高,第 3 播期和 第 4 播期比正常播期产量偏低。2018—2023 年玉

米播期延迟 20 d,单产分别比第 2 播期减少 17.7%、16.8%、15.4%、13.4%、24.6%、14.7%,第 4 播期比第 2 播期平均减产 17.1%。2018—2023 年玉米播期延迟 10 d,玉米单产比正常播期分别减少 10.9%、

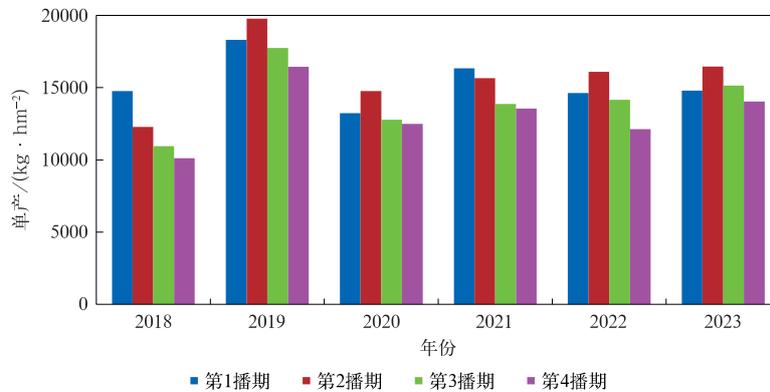


图 6 2018—2023 年玉米不同播期玉米单产

Fig. 6 Yield for different sowing dates of corn from 2018 to 2023

10.3%、13.5%、11.4%、12.0%、8.0%，第 3 播期比第 2 播期玉米单产平均减产 11.0%。2018 年和 2021 年第 1 播期比第 2 播期玉米单产分别增加 20.1% 和 4.4%，2019、2020、2022 年和 2023 年第 1 播期比第 2 播期玉米单产分别减少 7.4%、10.4%、9.1% 和 10.1%。总体上，玉米播期延迟 10 d 和 20 d，尽管在初霜冻来临前玉米能够成熟，但玉米单产会大幅减产。玉米播期提前 10 d，玉米积温利用效率提高，平均单产与正常播期接近，部分年份单产增加。

分析玉米单产和玉米生长期积温以及降水量的关系，发现玉米生长期降水量与玉米单产相关系数为 0.62，达到 0.01 显著性水平(图 7)。玉米生长期积温与玉米单产相关系数为 0.2，虽然未达到 0.01 显著性水平，但积温增加有利于玉米增产。气候变暖背景下东北地区气温升高，积温增加，玉米播期适当提前，有利于提高积温利用效率，增加玉米产量。玉米播期延迟，积温利用效率降低，不利于玉米增产稳产。

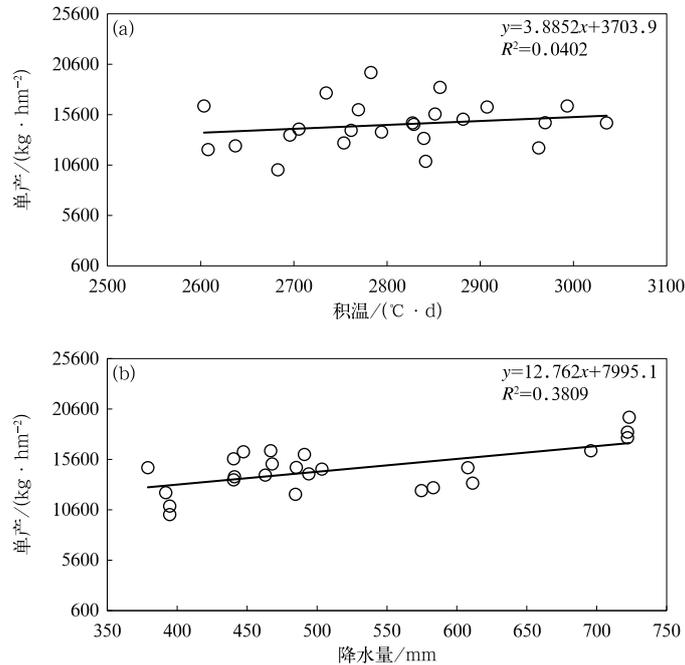


图 7 2018—2023 年玉米不同播期玉米单产与生长期积温(大于等于 10 °C)(a) 以及与降水量(b)的关系

Fig. 7 Relationship between yield and accumulated temperature(no less than 10 °C)(a) as well as precipitation(b) during the growing season for different sowing dates of corn from 2018 to 2023

2.3 不同播期对玉米籽粒品质影响

玉米籽粒品质受土壤物理化学性质、品种特性、天气气候特征、耕作措施如施肥等因子影响，光、热、水与二氧化碳是玉米生长发育和产量形成的基本要素，也是影响玉米籽粒品质的重要生态因子。本研究试验在吉林榆树试验站同一大田进行，土壤物理化学性质相同，2018—2023 年采用当地主栽品种玉米先玉 335，玉米品种特性相同。

由图 8 可见，玉米播期调整对玉米籽粒淀粉含量影响不大。2018—2023 年玉米籽粒淀粉含量平均为 64.0%、65.5%、52.7%、57.3%、60.7% 和

54.1%。2018 年第 1 播期玉米淀粉含量最高，为 69.0%，第 2 播期最低，为 62.0%。2019 年 4 个播期玉米淀粉含量接近，约为 65%。2020 年第 3 播期玉米淀粉含量最多，为 56.4%，第 2 播期最少，为 50.2%。2021 年 4 个播期淀粉含量接近，约为 57%。2022 年玉米第 1 播期和第 2 播期淀粉含量最多，为 62.5%，第 4 播期最少，为 57.9%。2023 年玉米第 3 播期淀粉含量最多，为 59.7%。总体上，玉米播期调整对玉米籽粒淀粉含量影响不大。此外，播期调整对玉米籽粒蛋白质含量影响也不明显。2018—2023 年玉米籽粒蛋白质平均含量分别

为 8.6%、8.3%、8.5%、11.0%、9.0% 和 8.5%。2018 年玉米第 4 播期籽粒蛋白质含量最高,为 8.8%,2019 年和 2020 年第 2 播期籽粒蛋白质含量最高,分别为 8.7% 和 9.0%,2021 年第 3 播期和第

4 播期蛋白质含量最高,为 11.2%。2022 年第 3 播期蛋白质含量最高,为 9.5%。2023 年第 4 播期籽粒蛋白质含量最高,为 9.1%。总体上,玉米播期调整对玉米籽粒淀粉含量和蛋白质含量影响不明显。

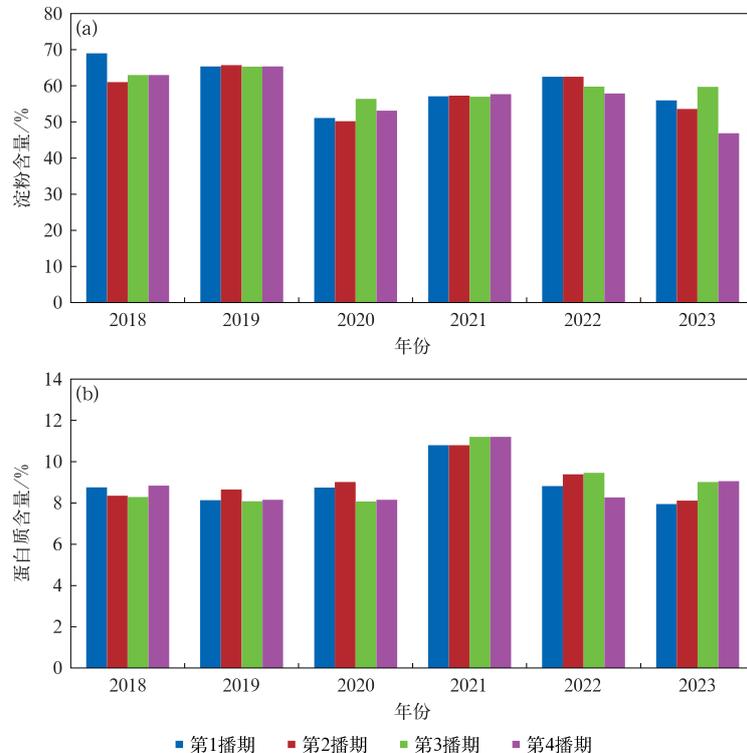


图 8 2018—2023 年玉米不同播期玉米籽粒淀粉含量(a)和蛋白质含量(b)

Fig. 8 Starch content(a) and protein content(b) of corn grains for different sowing dates from 2018 to 2023

3 小 结

本文利用 2018—2023 年吉林榆树农业气象试验站大田科学试验数据,研究气候变暖背景下不同玉米播期对玉米生长发育、产量构成以及玉米籽粒品质影响,探讨玉米播期调整作为农业适应气候变化措施的可行性,得到以下主要结论:

1) 不同播期玉米生长期内积温(大于等于 10℃)利用效率不同,第 1 播期积温最高。第 1 播期玉米生长期内积温最高,平均达到 2906.3℃·d,第 2 播期比第 1 播期平均积温减少 1.4%,第 3 播期比第 1 播期平均积温减少 4.2%,第 4 播期玉米生长期内积温最低,比第 1 播期平均减少 8.3%。但不同播期玉米生长期内降水量变化不大。

2) 不同播期对玉米生长期长度造成影响。玉

米播期提前,生长期延长,播期延迟,生长期缩短。第 1 播期玉米生长期比正常播期平均延长 7.5 d,第 3 播期生长期比正常播期缩短 5.7 d,第 4 播期生长期比正常播期缩短 13.8 d。

3) 不同播期对玉米产量结构造成影响。第 1 播期,6 年试验中有 2 年玉米百粒重增加,第 3 播期和第 4 播期玉米百粒重普遍减少,第 3 播期玉米百粒重比正常播期平均减少 4.8%,第 4 播期玉米百粒重比正常播期平均减少 8.7%。第 1 播期玉米单株籽粒数比正常播期平均增加 0.2%,第 3 播期玉米籽粒数比正常播期平均减少 6.0%,第 4 播期玉米籽粒数比正常播期平均减少 9.3%。总体上,玉米播期延迟 10 d,玉米单产平均减产 10.9%;播期延迟 20 d,单产平均减产 17.1%。玉米播期延迟 10 d 和 20 d,尽管在初霜冻来临前玉米能够成熟,但玉米单产大幅减产。玉米播期提前 10 d,积温利

用效率提高,玉米平均单产接近正常播期单产,部分年份单产增加。

气候变暖背景下,东北地区气温升高,积温增加,玉米播期适当提前可以提高积温利用效率,玉米平均单产接近正常播期单产,部分年份单产增加,因此东北部分地区玉米播期比正常播期提前 10 d 可以作为适应气候变化措施。由于本试验玉米品种为当地主栽品种,因此本文研究结论对于指导实际农业生产具有十分重要的应用价值。本研究结论基于 2018—2023 年吉林榆树农业气象试验站的大田科学试验,且试验品种仅限于玉米先玉 335,如果试验期限延长、试验地点增多,研究结论将更具普适性。

参考文献

- [1] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change, the Physical Science Basis, 2013.
- [2] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change, the Physical Science Basis, 2021.
- [3] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers//Global Warming of 1.5 °C, an IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development and Efforts to Eradicate Poverty, 2018.
- [4] Cheng C S, Auld H, Li Q, et al. Possible impacts of climate change on extreme weather events at local scale in south-central Canada. *Climatic Change*, 2012(3/4): 963-979.
- [5] 娇梅燕,周广胜,张祖强,等.农业应对气候变化蓝皮书.北京:社会科学文献出版社,2016.
Jiao M Y, Zhou G S, Zhang Z Q, et al. Blue Book of Agriculture for Addressing Climate Change. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2016.
- [6] 国家统计局.中国统计年鉴.北京:中国统计出版社,2023.
National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2023.
- [7] 宋艳玲,王建林.气候变化背景下农业气象灾害对我国农业生产影响评估技术.北京:气象出版社,2017.
Song Y L, Wang J L. The Influence of Agriculture Meteorological Disasters on Agriculture in China under Climate Change. Beijing: China Meteorological Press, 2017.
- [8] 郭建平,田志会,张涓涓.东北地区玉米热量指数的预测模型研究.应用气象学报,2003,14(5):626-633.
Guo J P, Tian Z H, Zhang J J. Forecasting models of heat index for corn in Northeast China. *J Appl Meteor Sci*, 2003, 14(5): 626-633.
- [9] 王贺然,刘东明,陈鹏狮,等.基于积温带重新划分的东北玉米熟型分布研究.中国农业资源与区划,2022,43(5):102-112.
Wang H R, Liu D M, Chen P S, et al. Distribution of maturity types of maize based on accumulated temperature rezone in Northeast China. *Chinese J Agric Resour Reg Plan*, 2022, 43(5): 102-112.
- [10] 霍治国,张海燕,李春晖,等.中国玉米高温热害研究进展.应用气象学报,2023,34(1):1-14.
Huo Z G, Zhang H Y, Li C H, et al. Review on high temperature heat damage of maize in China. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(1): 1-14.
- [11] 杨磊,韩丽娟,宋金玲,等.基于遥感数据的夏玉米高温热害监测评估.应用气象学报,2020,31(6):749-758.
Yang L, Han L J, Song J L, et al. Monitoring and evaluation of high temperature and heat damage of summer maize based on remote sensing data. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(6): 749-758.
- [12] 王培娟,霍治国,杨建堂,等.基于热量指数的东北春玉米冷害指标.应用气象学报,2019,30(1):13-24.
Wang P J, Huo Z G, Yang J Y, et al. Indicators of chilling damage for spring maize based on heat index in Northeast China. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(1): 13-24.
- [13] 刘布春,王石立,庄立伟,等.基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究.应用气象学报,2003,14(5):616-625.
Liu B C, Wang S L, Zhuang L W, et al. Study of low temperature damage prediction applications in EN, China based on a scaling-up maize dynamic model. *J Appl Meteor Sci*, 2003, 14(5): 616-625.
- [14] 冯晓钰,周广胜.碳四植物光合生化机理模型的叶片含水量修正.应用气象学报,2022,33(3):375-384.
Feng X Y, Zhou G S. Modification of leaf water content for the photosynthetic and biochemical mechanism model of C4 plant. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(3): 375-384.
- [15] 吕厚荃,钱拴,杨霏云,等.华北地区玉米田实际蒸散量的计算.应用气象学报,2003,14(6):726-732.
Lu H Q, Qian S, Yang F Y, et al. Estimation of actual evapotranspiration for maize field in North China. *J Appl Meteor Sci*, 2003, 14(6): 726-732.
- [16] 郭建平,栾青,王婧瑄,等.玉米冠层对降水的截留模型构建.应用气象学报,2020,31(4):397-404.
Guo J P, Luan Q, Wang J X, et al. Model construction of rainfall interception by maize canopy. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(4): 397-404.
- [17] 宋艳玲,王建林,田靳峰,等.气象干旱指数在东北春玉米干旱监测中的改进.应用气象学报,2019,30(1):25-34.
Song Y L, Wang J L, Tian J F, et al. The spring maize drought index in Northeast China based on meteorological drought index. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(1): 25-34.
- [18] 蔡福,米娜,明惠青,等.WOFOST模型蒸散过程改进对玉米干旱模拟影响.应用气象学报,2021,32(1):52-64.
Cai F, Mi N, Ming H Q, et al. Effects of improving evapotranspiration parameterization scheme on WOFOST model performance in simulating maize drought stress process. *J*

- Appl Meteor Sci*, 2021, 32(1): 52-64.
- [19] 陈雨焯, 王培娟, 张源达, 等. 基于3种遥感指数的东北春玉米干旱识别对比. *应用气象学报*, 2022, 33(4): 466-476.
Chen Y Y, Wang P J, Zhang Y D, et al. Comparison of drought recognition of spring maize in Northeast China based on 3 remote sensing indices. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(4): 466-476.
- [20] 李燕, 王志伟, 霍治国, 等. 干旱对夏玉米根冠及产量影响试验. *应用气象学报*, 2020, 31(1): 83-94.
Li Y, Wang Z W, Huo Z G, et al. Experiments of water stress on root/shoot growth and yield of summer maize. *J Appl Meteor Sci*, 2020, 31(1): 83-94.
- [21] 宋艳玲. 全球干旱指数研究进展. *应用气象学报*, 2022, 33(5): 513-526.
Song Y L. Global research progress of drought indices. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(5): 513-526.
- [22] 米前川, 高西宁, 李玥, 等. 深度学习方法在干旱预测中的应用. *应用气象学报*, 2022, 33(1): 104-114.
Mi Q C, Gao X N, Li Y, et al. Application of deep learning method to drought prediction. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(1): 104-114.
- [23] 吴玮, 景元书, 马玉平, 等. 干旱环境下夏玉米各生育时期光响应特征. *应用气象学报*, 2013, 24(6): 723-730.
Wu W, Jing Y S, Ma Y P, et al. Light response characteristics of summer maize at different growth stages under drought. *J Appl Meteor Sci*, 2013, 24(6): 723-730.
- [24] 徐永清, 刘赫男, 刘春生, 等. 黑龙江省玉米暴雨洪涝灾害风险评估研究. *中国农学通报*, 2023, 39(30): 94-100.
Xu Y Q, Liu H N, Liu C S, et al. Study on risk assessment of maize rainstorm and flood disaster in Heilongjiang Province. *Chinese Agric Sci Bull*, 2023, 39(30): 94-100.
- [25] 郑江平, 王春乙. 低温、干旱并发对玉米苗期生理过程的影响. *应用气象学报*, 2006, 17(1): 119-123.
Zheng J P, Wang C Y. Impact of chilling temperature and drought on corn physiological process in seedling stage. *J Appl Meteor Sci*, 2006, 17(1): 119-123.
- [26] 魏瑞江, 宋迎波, 王鑫. 基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法. *应用气象学报*, 2009, 20(5): 622-627.
Wei R J, Song Y B, Wang X. Method for dynamic forecast of corn yield based on climatic suitability. *J Appl Meteor Sci*, 2009, 20(5): 622-627.
- [27] 漆栋良, 朱建强. 旱涝急转对玉米叶片衰老特性和产量的影响. *农业工程学报*, 2024, 40(5): 141-147.
Qi D L, Zhu J Q. Effects of drought-flood abrupt alternation on the characteristics of leaf senescence and grain yield of maize. *Trans Chinese Soc Agric Eng*, 2024, 40(5): 141-147.
- [28] 穆佳, 赵俊芳, 郭建平. 近30年东北春玉米发育期对气候变化的响应. *应用气象学报*, 2014, 25(6): 680-689.
Mu J, Zhao J F, Guo J P. Response of spring maize growth stage to climate change in Northeast China over the past 30 years. *J Appl Meteor Sci*, 2014, 25(6): 680-689.
- [29] 栾文杰, 申晓晶, 李王成, 等. 宁夏北部引黄灌区玉米生长季气候变化及其对气候产量影响. *江西农业大学学报*, 2023, 45(4): 841-854.
Luan W J, Shen X J, Li W C, et al. Climate change in the growing season of maize in northern Ningxia yellow irrigation area and its impact on climate yield. *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 2023, 45(4): 841-854.
- [30] 徐延红, 李树岩. 气候变化对河南省小麦和玉米气候资源利用效率的影响. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(5): 218-225.
Xu Y H, Li S Y. Impact of climate change on climatic resources utilization efficiency of wheat and maize in Henan Province. *Agric Res Arid Areas*, 2019, 37(5): 218-225.
- [31] 赵放, 李秀芬, 林伟楠, 等. 气候变化对玉米气候生产潜力的影响. *农业工程*, 2019, 9(8): 132-134.
Zhao F, Li X F, Lin W N, et al. Impact of climate change on climate productivity potential of maize. *Agric Eng*, 2019, 9(8): 132-134.
- [32] 国家气象局. 农业气象观测规范(上卷). 北京: 气象出版社, 1993.
China Meteorological Administration. Agricultural Meteorological Observation (Volume I). Beijing: China Meteorological Press, 1993.
- [33] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 中华人民共和国国标, 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定. GB5009.5-2016, 2016.
National Health Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National Standard of the People's Republic of China, National Food Safety Standards-determination of Protein in Foods. GB5009.5-2016, 2016.

Influence of Different Sowing Dates on Yield and Quality of Corn Xianyu 335

Song Yanling¹⁾²⁾³⁾ Zhou Guangsheng¹⁾²⁾³⁾ Guo Jianping¹⁾³⁾ Pan Yaru¹⁾³⁾ Yang Mengjiao⁴⁾
Tian Jinfeng²⁾³⁾ Li Xiangxue⁵⁾ Meng Xiangyi⁶⁾ Lan Huiting⁶⁾ Jiang Weiguang⁶⁾
Sui Dan⁶⁾ Zhou Lingyu⁶⁾ Shi Junchen⁶⁾ Nie Chang⁶⁾ Man Yi⁶⁾

¹⁾ (State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD),
Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

³⁾ (CMA-CAU Jointly Laboratory of Agriculture Addressing Climate Change, Beijing 100081)

⁴⁾ (School of Geo-Science & Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052)

⁵⁾ (College of Hydrology and Water Resources Engineering, Nanjing University of
Information Science & Technology, Nanjing 210044)

⁶⁾ (Yushu Meteorological Bureau of Jilin, Yushu 130400)

Abstract

Using data from Yushu Agricultural Meteorological Station of Jilin from 2018 to 2023, the impact of different sowing dates of corn is investigated focusing on its growth and yield composition as well as grain quality under global warming. It is also debated whether adjusting the sowing date of corn could be a measure for agriculture to adapt to climate change. Results show that the utilization efficiency of accumulated temperature during the growing season of corn varies with different sowing dates. The accumulated temperature is the highest in the first sowing date and lowest in the fourth sowing date, with an average decrease of 8.3% compared to the first sowing date. Different sowing dates of corn have an impact on the growing period. The duration of the first sowing date for corn is extended by an average of 7.5 days compared to the normal sowing date, while durations of the third and fourth sowing dates are shortened by 5.7 days and 13.8 days, respectively. Different sowing dates have an impact on the yield structure of corn. In the first sowing date, there is an increase in the weight of 100 grains of corn in 2 years during 6 years, while a decrease by 4.8% and 8.7% in the third and fourth sowing dates compared to the normal sowing date. The average number of grains per plant in the first sowing date increases by 0.2%, while decreases by 6.0% and 9.3% in the third and fourth sowing date. Overall, delaying the corn sowing date by 10 days and 20 days results in an average yield reduction of 10.9% and 17.1%. Sowing corn 10 days earlier could increase the yield in some years. The change in sowing dates has little effect on the quality of grains. Therefore, an early corn sowing date can be utilized as a strategy to adapt to climate change in certain regions of Northeast China.

Key words: corn; sowing date; measures to adapt to climate change