

王俊方,周广胜,宋艳玲,等. 气象条件对廉玉 1 号玉米产量的影响. 应用气象学报, 2023, 34(3): 373-378.

DOI: 10.11898/1001-7313.20230310

# 气象条件对廉玉 1 号玉米产量的影响

王俊方<sup>1)</sup> 周广胜<sup>2)3)</sup>\* 宋艳玲<sup>2)3)</sup> 任三学<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(郑州大学地球科学与技术学院, 郑州 450052)

<sup>2)</sup>(河北固城农业气象国家野外科学观测研究站, 保定 072656)

<sup>3)</sup>(南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044)

## 摘 要

厘清气象条件对玉米产量影响是确保玉米稳产高产的基础。基于 2018—2021 年河北固城农业气象国家野外科学观测研究站廉玉 1 号玉米不同播种期的田间试验对气象条件影响玉米产量的分析表明:播种期推迟导致发育期延长,改变发育期的气象条件。廉玉 1 号玉米播种期推迟 20 d 较提前 10 d 的平均发育期长度延长 2.5 d,出苗-拔节期平均气温增加 0.7℃,乳熟-成熟期平均气温减少 5.9℃。玉米单产总体随播种期推迟呈降低趋势,6 月 8—18 日期间播种可获得较高产量。出苗-拔节期的气温日较差以及抽雄-乳熟期的平均气温是影响廉玉 1 号玉米单产的关键气象因子。

**关键词:** 华北地区; 廉玉 1 号; 播种期; 产量; 气象条件

## 引 言

玉米作为我国重要的粮食作物,在农业生产和国民经济中占有十分重要的地位<sup>[1-4]</sup>。华北平原是我国主要玉米产区之一,2020 年玉米种植面积占全国玉米种植面积的 31.7%,产量占 31.1%<sup>[5]</sup>,华北平原玉米稳产高产关系到国家粮食安全和社会经济发展<sup>[6]</sup>。玉米产量不仅取决于品种更替和栽培措施优化<sup>[7]</sup>,还与温度、光照、水分等因素存在密切联系。近年全球气候变暖与极端天气气候事件频发<sup>[8-10]</sup>,给玉米生产带来严峻挑战<sup>[11]</sup>。

作物播种期调整通常被用于应对气候变化的不利影响,通过改变作物发育过程中光、温、水等气象条件影响生长发育,导致产量变化<sup>[12-13]</sup>,但不同气候区不同品种作物的播种期调整对作物生长发育和产量的影响并不相同<sup>[14-15]</sup>。研究表明<sup>[16-17]</sup>:播种期推迟将导致玉米发育期缩短,产量下降。黄淮海平原玉米适时早播有利于延长灌浆期,从而获得更多籽粒数和更高粒重,提高产量<sup>[18]</sup>。河南新乡玉米在 6

月上旬播种可获得较高产量,播种期调整通过影响灌浆期积温和辐射调控粒重和粒数,从而影响产量<sup>[19]</sup>。现有研究<sup>[20-21]</sup>大多集中在播种期调整引起关键发育期(灌浆乳熟期)气象条件变化对产量的影响,关于播种期调整对作物各发育阶段气象条件及其产量影响的研究鲜见报道。

本研究以华北地区广泛种植的廉玉 1 号玉米为研究对象,利用 2018—2021 年河北固城农业气象国家野外科学观测研究站玉米不同播种期的田间试验资料,研究气象条件对玉米产量的影响,为玉米播种期的确定提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

河北固城农业气象国家野外科学观测研究站位于河北省定兴县固城镇东,海拔高度为 15.2 m,属于暖温带大陆性季风气候,该站土层深厚,地势平坦,主要土壤类型为砂壤土,土壤养分丰富<sup>[22]</sup>。

2023-02-08 收到, 2023-03-30 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金重点项目(42130514)

\* 通信作者, 邮箱: zhousg@cma.gov.cn

## 1.2 试验设计

以廉玉1号玉米为试验材料,设置4个播种期处理,分别为S1(6月8日)、S2(6月18日)、S3(6月28日)和S4(7月8日),其中,S2为正常播种期。每个处理设4个重复,试验田小区采用标准拉丁方分布,密度为60000株/hm<sup>-2</sup>。播种后漫灌4h,之后主要依靠自然降水,发生干旱时采用人工灌水使玉米生长不受影响。正常喷雾农药防治病虫害,人工除草。试验时间为2018—2021年,但因2018年S1和S2的开花期降水过多,且受大风影响出现严重倒伏,故剔除2018年S1和S2的试验结果。

## 1.3 测定项目

### 1.3.1 发育期

按照《农业气象观测规范》记录玉米各发育期时间,包括播种、出苗、拔节、抽雄、乳熟、成熟对应日期。

### 1.3.2 气象资料

气象资料来源于河北固城农业气象国家野外科学观测研究站,包括平均气温、最高气温、最低气温、

日照时数等。

### 1.3.3 玉米产量

玉米产量结构观测包括果穗粗、果穗长、单株籽粒数、百粒重等,按照《农业气象观测规范》执行,根据单株籽粒数、百粒重和种植密度计算玉米单产。

## 2 结果分析

### 2.1 播种期变化对玉米发育期和气象条件的影响

播种期改变不仅影响玉米发育期(图1),而且会导致不同发育期气象条件的变化。2018—2021年S4的平均发育期长度较S1延长2.5d。播种期调整使玉米出苗-拔节期及乳熟-成熟期的持续时间存在差异,也导致玉米发育期气象条件发生变化。2018—2021年S4的出苗-拔节期平均气温较S1增加0.7℃,出苗-拔节期平均缩短4d;S4的乳熟-成熟期平均气温较S1降低5.9℃,乳熟-成熟期延长7.5d。

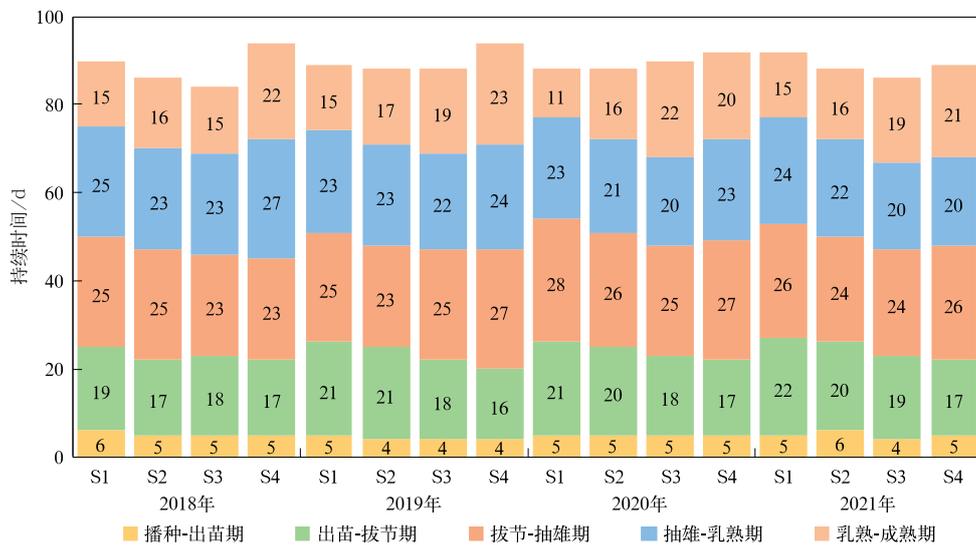


图1 2018—2021年不同播种期玉米发育进程

Fig. 1 Growth period of maize under different sowing dates during 2018—2021

### 2.2 气象条件对玉米产量结构的影响

玉米不同播种期果穗粗的差异不显著(表1),但随播种期推迟,果穗长缩短,百粒重降低。2018—2021年S1~S4的果穗长分别为20.0,19.0,18.9cm和17.3cm,S4的果穗长显著短于S1,较S1缩短13.5%。S1~S4的平均单株籽粒数分别为622.5,611.2,623.5和566.6,S4较S1减少9.0%。S1~

S4的平均百粒重分别为34.467,31.246,29.940g和27.286g,S4较S1降低20.8%。

偏相关分析(表2)表明:影响玉米果穗粗的气象因子包括播种-出苗期、拔节-抽雄期、乳熟-成熟期以及播种-成熟期的有效积温,播种-出苗期、出苗-拔节期的气温日较差,播种-出苗期、拔节-抽雄期的日照时数。影响果穗长的气象因子包括各发育阶段的

平均气温,出苗-拔节期及乳熟-成熟期的气温日较差,出苗-拔节期、抽雄-乳熟期、乳熟-成熟期以及播种-成熟期的有效积温。影响单株籽粒数的气象因子包括抽雄-乳熟期、乳熟-成熟期及播种-成熟期的平均气温,出苗-拔节期、拔节-抽雄期、抽雄-乳熟期以及播种-成熟期的气温日较差,出苗-拔节期、抽雄-乳熟期、乳熟-成熟期及播种-成熟期的有效积温,出

苗-拔节期、拔节-抽雄期、抽雄-乳熟期及播种-成熟期的日照时数。影响百粒重的气象因子包括抽雄-乳熟期、乳熟-成熟期及播种-成熟期的平均气温,出苗后及播种-成熟期的气温日较差,出苗-拔节期、拔节-抽雄期、抽雄-乳熟期及播种-成熟期的有效积温,拔节-抽雄期、抽雄-乳熟期及播种-成熟期的日照时数。

表1 2018—2021年不同播种期玉米平均产量结构  
Table 1 Average components of maize yield under different sowing dates during 2018—2021

处理	果穗粗/cm	果穗长/cm	单株籽粒数	百粒重/g
S1	5.1	20.0	622.5	34.467
S2	5.1	19.0	611.2	31.246
S3	5.1	18.9	623.5	29.940
S4	5.0	17.3	566.6	27.286

表2 2018—2021年玉米产量结构与各发育阶段气象因子的偏相关系数  
Table 2 Partial correlation coefficients of maize yield's components with meteorological factors at different growth stages during 2018—2021

发育阶段	产量构成要素	平均气温/℃	气温日较差/℃	有效积温/(℃·d)	日照时数/h
播种-出苗期	果穗粗	-0.059	0.349*	0.352*	-0.368*
	果穗长	0.368*	0.022	-0.270	0.133
	单株籽粒数	0.059	0.230	-0.069	0.009
	百粒重	-0.211	0.310	-0.280	-0.065
出苗-拔节期	果穗粗	-0.288	-0.353*	0.077	0.309
	果穗长	0.466**	0.361*	0.313*	-0.214
	单株籽粒数	-0.542**	0.538**	0.441**	-0.449**
	百粒重	-0.585**	0.627**	0.462**	-0.116
拔节-抽雄期	果穗粗	-0.179	-0.132	0.473**	-0.381*
	果穗长	0.802**	0.234	0.227	-0.258
	单株籽粒数	0.130	0.702**	0.290	-0.651**
	百粒重	0.287	0.705**	0.682**	-0.739**
抽雄-乳熟期	果穗粗	0.001	-0.012	0.287	0.007
	果穗长	0.697**	0.177	0.435**	-0.068
	单株籽粒数	0.681**	0.434**	0.523**	-0.561**
	百粒重	0.811**	0.688**	0.828**	-0.690**
乳熟-成熟期	果穗粗	-0.056	-0.099	0.362*	0.140
	果穗长	0.521**	0.794**	0.434**	-0.625**
	单株籽粒数	0.750**	0.012	0.509**	0.073
	百粒重	0.666**	0.530**	0.243	-0.258
播种-成熟期	果穗粗	0.198	-0.352*	0.398*	0.288
	果穗长	0.810**	0.115	0.613**	0.047
	单株籽粒数	0.578**	0.643**	0.730**	-0.653**
	百粒重	0.747**	0.633**	0.886**	-0.514**

注:\*表示达到0.05显著性水平,\*\*表示达到0.01显著性水平。

### 2.3 气象条件对玉米单产的影响

不同播种期玉米单产间存在显著差异(表3)。2019年S1,S2与S4存在极显著差异,2020年S1,S2和S3,S4间存在极显著差异,2021年S1,S2,S3,S4差异极显著。播种期推迟,玉米单产降低,S2,S3

和S4较S1分别减产9.2%,16.6%和32.1%。

玉米单产与各发育进程气象因子的相关性如表4所示。玉米单产与抽雄-乳熟期、乳熟-成熟期及播种-成熟期的平均气温呈极显著正相关,与各发育阶段的气温日较差、出苗后及播种-成熟期的有效积温

均呈显著正相关,与出苗-拔节期的平均气温和出苗-拔节期、拔节-抽雄期、抽雄-乳熟期及播种-成熟期的日照时数呈显著负相关。播种-成熟期的平均

气温、气温日较差和有效积温显著影响玉米单产,平均气温越高、气温日较差越大、有效积温越高,越有利于单产提高。

表3 2018—2021年不同播种期玉米单产(单位:t·hm<sup>-2</sup>)

Table 3 Maize yield per unit area under different sowing dates during 2018—2021 (unit:t·hm<sup>-2</sup>)

处理	2018年	2019年	2020年	2021年
S1		13.556	13.632	14.827
S2		14.972	11.347	11.817
S3	9.819	12.415	11.571	11.066
S4	8.465	10.377	9.482	8.667

表4 2018—2021年玉米单产与各发育阶段气象因子的偏相关关系

Table 4 Partial correlations of maize yield per unit area with meteorological factors at different growth stages during 2018—2021

发育阶段	平均气温/℃	气温日较差/℃	有效积温/(℃·d)	日照时数/h
播种-出苗期	-0.112	0.343*	-0.212	-0.081
出苗-拔节期	-0.648**	0.637**	0.520**	-0.316*
拔节-抽雄期	0.278	0.776**	0.638**	-0.783**
抽雄-乳熟期	0.807**	0.618**	0.761**	-0.662**
乳熟-成熟期	0.724**	0.384*	0.363*	-0.145
播种-成熟期	0.737**	0.738**	0.898**	-0.691**

注:\*表示达到0.05显著性水平,\*\*表示达到0.01显著性水平。

#### 2.4 影响玉米单产的关键气象因子

为进一步分析影响玉米单产的关键气象因子,根据玉米单产与各发育阶段气象因子的偏相关分析结果,将与单产显著相关的气象因子和单产进行逐步回归,得到如下方程:

$$Y = -11.060 + 0.684R_2 + 0.634T_4 \quad (1)$$

式(1)中, $Y$ 为玉米单产(单位:t·hm<sup>-2</sup>), $R_2$ 为出苗-拔节期的气温日较差(单位:℃), $T_4$ 为抽雄-乳熟期的平均气温(单位:℃)。该回归方程达到0.01显著性水平,表明出苗-拔节期的气温日较差和抽雄-乳熟期的平均气温是影响玉米单产的关键气象因子,两者可以解释单产变化的81.2%,即播种期调整通过改变出苗-拔节期的气温日较差和抽雄-乳熟期的平均气温影响玉米单产,出苗-拔节期的气温日较差越大、抽雄-乳熟期的平均气温越高,玉米单产越高。

### 3 结论与讨论

本研究基于分期播种试验资料,研究气象条件对廉玉1号玉米产量的影响,得到如下结论:

1) 播种期推迟导致玉米发育期延长,改变发育

期的气象条件。2018—2021年S4的平均发育期较S1延长2.5d,出苗-拔节期平均气温增加0.7℃,乳熟-成熟期的平均气温减少5.9℃。

2) 播种期推迟引起玉米平均果穗长缩短,百粒重和单产降低。与S1相比,S4的果穗长缩短13.5%,单株籽粒数减少9.0%,百粒重降低20.8%,单产降低32.1%。6月8—18日期间播种廉玉1号玉米可获得较高产量。

3) 玉米单产主要由出苗-拔节期的气温日较差和抽雄-成熟期的平均气温决定。出苗-拔节期的气温日较差越大、抽雄-成熟期的平均气温越高,越有利于玉米单产的提高。

播种期调整通过改变气象条件影响玉米生长发育<sup>[23]</sup>。温度是影响玉米发育期长短的主要因素<sup>[24-25]</sup>。播种期推迟,出苗-拔节期缩短,但乳熟-成熟期延长。夏玉米播种宜早不宜迟,在适宜范围内提前播种,可使吐丝后的有效积温和平均气温增加,灌浆速率提高、籽粒败育率降低,从而获得较高产量<sup>[26]</sup>。播种期过晚使籽粒灌浆期温度下降,导致灌浆不足,影响产量<sup>[18]</sup>。6月8—18日期间播种廉玉1号玉米可以获得较高产量。研究发现,玉米播种-成熟期的积温、平均气温与玉米产量的关系十分密

切<sup>[27-28]</sup>,热量条件是决定玉米高产的主要因子。这与本研究关于华北地区廉玉1号玉米单产的气象影响因子结果基本一致,平均气温和气温日较差显著影响玉米单产。

### 参考文献

- [1] 刘维,宋迎波.基于气象要素的逐日玉米产量气象影响指数.应用气象学报,2022,33(3):364-374.  
Liu W, Song Y B. A daily meteorological impact index of maize yield based on weather elements. *J Appl Meteor Sci*, 2022,33(3):364-374.
- [2] Fang Q, Zhang X, Chen S, et al. Selecting traits to reduce seasonal yield variation of summer maize in the North China Plain. *Agronomy Journal*, 2019, 111(1):343-353.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 国家统计局.中国统计年鉴.北京:中国统计出版社,2020.  
National Bureau of Statistics of China. *China Statistical Yearbook*. Beijing:China Statistic Press, 2020.
- [6] Huang S B, Lv L H, Zhu J C, et al. Extending growing period is limited to offsetting negative effects of climate changes on maize yield in the North China Plain. *Field Crops Research*, 2018, 215:66-73.
- [7] 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.
- [8] 马青荣,左璇,胡程达,等.涝渍对夏花生光合特性及产量影响.应用气象学报,2021,32(4):479-490.  
Ma Q R, Zuo X, Hu C D, et al. Effects of waterlogging on photosynthetic characteristics and yield of summer peanut. *J Appl Meteor Sci*, 2021,32(4):479-490.
- [9] 宋艳玲,周广胜,郭建平,等.北方冬小麦冬季冻害及播期延迟应对.应用气象学报,2022,33(4):454-465.  
Song Y L, Zhou G S, Guo J P, et al. Freezing injury of winter wheat in northern China and delaying sowing date to adapt. *J Appl Meteor Sci*, 2022,33(4):454-465.
- [10] 陈金秋,施晓晖.青藏高原-孟加拉湾大气热力差异与夏季暴雨.应用气象学报,2022,33(2):244-256.  
Chen J Q, Shi X H. Possible effects of the difference in atmospheric heating between the Tibetan Plateau and the Bay of Bengal on spatiotemporal evolution of rainstorms. *J Appl Meteor Sci*, 2022,33(2):244-256.
- [11] Xu F, Wang B, He C, et al. Optimizing sowing date and planting density can mitigate the impacts of future climate on maize yield: A case study in the Guanzhong Plain of China. *Agronomy*, 2021, 11(8):1452-1470.
- [12] Srivastava R, Panda R, Chakraborty A, et al. Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 2018, 221:339-349.
- [13] Maresma A, Ballesta A, Santiveri F, et al. Sowing date affects maize development and yield in irrigated Mediterranean environments. *Agriculture*, 2019, 9(3):67-81.
- [14] Lv Z F, Li F F, Lu G Q. Adjusting sowing date and cultivar shift improve maize adaption to climate change in China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2020, 25(1):87-106.
- [15] Gao Z, Feng H Y, Liang X G, et al. Adjusting the sowing date of spring maize did not mitigate against heat stress in the North China Plain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2021, 298/299:108274.
- [16] Bonea D. Phenology, yield and protein content of maize (*Zea mays L.*) hybrids as affected by different sowing dates. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 2020, 20(3):145-150.
- [17] Zhu G, Liu Z, Qiao S, et al. How could observed sowing dates contribute to maize potential yield under climate change in Northeast China based on APSIM model. *European Journal of Agronomy*, 2022, 136:126511.
- [18] Zhai L, Zhang L, Yao H, et al. The optimal cultivar × sowing date × plant density for grain yield and resource use efficiency of summer maize in the northern Huang-Huai-Hai Plain of China. *Agriculture*, 2021, 12(1):7.
- [19] Zhou B, Yue Y, Sun X, et al. Maize kernel weight responses to sowing date-associated variation in weather conditions. *The Crop Journal*, 2017, 5(1):43-51.
- [20] Alam M J, Ahmed K S, Nahar M K, et al. Effect of different sowing dates on the performance of maize. *Journal of Krishi Vigyan*, 2020, 8(2):75-81.
- [21] Cao Q, Li G, Yang F, et al. Maize yield, biomass and grain quality traits responses to delayed sowing date and genotypes in rain-fed condition. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2019, 31(6):415-425.
- [22] 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.
- [23] Bonelli L E, Monzon J P, Cerrudo A, et al. Maize grain yield

- components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*, 2016, 198: 215-225.
- [24] 王婧瑄, 郭建平, 李蕊. 春玉米积温稳定性及在发育期预报中的应用. *应用气象学报*, 2019, 30(5): 577-585.  
Wang J X, Guo J P, Li R. Accumulated temperature stability of spring maize and its application to growth period forecast. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(5): 577-585.
- [25] Wang Y, Wang C, Zhang Q. Synergistic effects of climatic factors and drought on maize yield in the east of Northwest China against the background of climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 2021, 143(3): 1017-1033.
- [26] Tian B, Zhu J, Nie Y, et al. Mitigating heat and chilling stress by adjusting the sowing date of maize in the North China Plain. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2019, 205(1): 77-87.
- [27] 郭春明, 任景全, 曹铁华, 等. 春玉米穗分化期低温对产量构成因素的影响. *应用气象学报*, 2018, 29(4): 505-512.  
Guo C M, Ren J Q, Cao T H, et al. Effects of low temperature during ear differentiation stage on yield components of spring maize. *J Appl Meteor Sci*, 2018, 29(4): 505-512.
- [28] Chen C, Pang Y. Response of maize yield to climate change in Sichuan Province, China. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 22: e00893.

## Effects of Meteorological Conditions on the Yield of Lianyu No. 1 Maize

Wang Junfang<sup>1)</sup> Zhou Guangsheng<sup>2)3)</sup> Song Yanling<sup>2)3)</sup> Ren Sanxue<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (School of Geo-Science and Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052)

<sup>2)</sup> (Hebei Gucheng Agricultural Meteorological National Field Scientific Observation and Research Station, Baoding 072656)

<sup>3)</sup> (Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

### Abstract

Understanding the influence of meteorological conditions on maize yield is an important basis for ensuring stable and high yield. The effects of meteorological conditions on the yield of Lianyu No. 1 maize in North China are analyzed, based on the four-year field experimental data of different sowing dates (8 June (S1), 18 June (S2), 28 June (S3) and 8 July (S4)) conducted at Hebei Gucheng Agricultural Meteorological National Field Scientific Observation and Research Station from 2018 to 2021. The results show that the delay of sowing dates leads to the extension of growing period and changes in the meteorological conditions during the growing period. When the sowing date is delayed by 20 days, the average growth period is 2.5 days longer compared with sowed 10 days earlier, and the average air temperature from emergence to jointing stages increases by 0.7°C, while the average air temperature from milk-ripening to maturity stage decreases by 5.9°C. The average yield of Lianyu No. 1 maize decreases with the delay of sowing dates, and the highest yield would be achieved when the sowing date is during 8–18 June. The key meteorological factors affecting maize yield per unit area are the daily temperature range from seedling emergence to jointing stage and the average temperature from tasseling to milk-ripening stage. The results provide a reference for scientific sowing date of Lianyu No. 1 maize to ensure stable and high yield.

**Key words:** North China; Lianyu No. 1; sowing dates; yield; meteorological conditions