

# 播期对玉米生长发育和产量的影响

罗新兰<sup>1</sup>, 崔佳龙<sup>1</sup>, 蔡福<sup>2</sup>, 陈伟<sup>3</sup>, 朱明宇<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110866; 2. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110166;

3. 辽宁省北票市气象局, 辽宁 北票 122100)

**摘要:** 基于 2012—2014 年在辽宁省庄河市和锦州市进行的玉米分期播种试验资料, 对辽宁地区玉米生长及产能受温度影响情况进行分析。试验分为 5 个播期, 播期间隔 10~15 d 不等, 种植密度约为 4.2 株·m<sup>-2</sup>, 每个播期分为 4 个重复小区, 分别观测玉米生长指标。结果表明: 在日照和水分条件适宜的情况下, 玉米在各生长发育期所持续的时间与相应期间的温度存在着负相关关系。播种~出苗阶段持续时间在日最低气温 15℃ 以下随着温度升高而逐渐缩短, 15℃ 以上则逐渐增加。吐丝~成熟阶段持续时间则随着播期的延后而延长。玉米在出苗~吐丝阶段, 各播期温度条件相当, 差别并不显著。吐丝~成熟期 ≥ 10℃ 的活动积温和气温日较差分别在 1 500 °C·d 左右和 8.0~8.5℃ 的范围内对产量的形成更加有利。

**关键词:** 分期播种; 玉米; 生长发育; 产量

**中图分类号:** S513.01 **文献标志码:** A

## Effect of sowing date on growth and yield of maize

LUO Xin-lan<sup>1</sup>, CUI Jia-long<sup>1</sup>, CAI Fu<sup>2</sup>, CHEN Wei<sup>3</sup>, ZHU Ming-yu<sup>1</sup>

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;

2. Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang, Liaoning 110166, China;

3. Meteorological Bureau of Beipiao City, Beipiao, Liaoning 122100, China)

**Abstract:** The effect of temperature on maize growth and yield capacity in Liaoning Province were analyzed based on experimental data of different sowing dates in test plots of Zhuanghe and Jinzhou city from 2012 to 2014. With an interval of 10 to 15 days and (stand) planting density of 4.2 plant·m<sup>-2</sup>, the test was undertaken in 5 different sowing dates, each of which was divided into 4 subsections so as to observe maize growth indices. The results showed that there was a negative correlation relationship between the duration of the maize growth at each development period and the corresponding temperature while the sunlight and soil moisture conditions were appropriate in the two places. The duration period of sowing to seedling emergence was short when the daily minimum temperature was below 15℃, while it gradually increased when the temperature was over 15℃. The duration of tasseling to maturation period prolonged as the sowing date was delayed. There was no significant difference in the period of seedling emergence to tasseling while different sowing dates were in the same temperature condition. More beneficial to maize yield was that the ≥ 10℃ active accumulated temperature was about 1 500 °C·d and the daily range of temperature was about 8.0℃~8.5℃ from tasseling to maturation period.

**Keywords:** different sowing dates; maize; growth; yield

在对玉米品种、种植区域的选择及产量等方面产生影响最大的气候因素就是热量。热量作为整个玉米生长过程中最不可缺少的重要因素也一直备受关注<sup>[1]</sup>。我国东北地区的玉米种植面积占全国玉

米种植面积的 30%, 而仅在东北地区, 又有一半以上的粮食种植面积为玉米<sup>[3-5]</sup>。这也说明玉米产量在东北地区粮食总产量中所占的比重之大。对于玉米来说, 灌浆期出现的时间及持续时间的长短直接

收稿日期: 2016-06-17 修回日期: 2016-10-27

**基金项目:** 辽宁省公益性行业(气象)科研专项“东北地区春玉米农业气象指标体系研究”(GYHY201206018); 辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划项目“基于作物模型的干旱胁迫对玉米生长和产量影响机制及评估研究”(2015060); 辽宁省气象局博士启动项目“基于气候适宜度模型的辽宁玉米生长状况评价及灾害诊断”(D201504)

**作者简介:** 罗新兰(1968—), 女, 黑龙江依兰人, 博士, 副教授, 主要从事应用气象、作物模拟系统的教学与研究工作。E-mail: luoxinlan@tom.com。

**通信作者:** 蔡福(1981—), 男, 辽宁海城人, 博士, 副研究员, 主要从事农业气象及陆面过程研究。E-mail: caifu\_80@163.com。

影响产量<sup>[2]</sup>。在气候方面,根据对气候变化数据的统计发现,东北地区近50年的平均气温呈现升高的趋势,幅度约为 $0.4^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ <sup>[6]</sup>。这种变化使东北地区逐渐成为全国对玉米生长发育和产量进行研究的热点地区。数值计算、农业气候分析等研究方法是在玉米生长与气候适宜性方面较早阶段的主要研究方法<sup>[7]</sup>,而现阶段常用的则是模型模拟法。如利用气候适宜性模型来模拟我国玉米生长及产量与 $\text{CO}_2$ 增多带来的气候变暖情况产生的关联,得出了我国东北地区玉米生长气候适宜性的理论<sup>[8]</sup>;将多种模型相结合,把可能对农业生产产生影响的气候变化在年代及区域空间尺度上进行了分析<sup>[9-11]</sup>,但都是假设性的以模拟天气数据作为真实的数据来进行的,缺乏一定的实测数据支持。

分期播种试验是一种用播期的先后来模拟不同气候因素对玉米生长影响的一种试验方法,得出不同播期的数据,从而分析产生的差异及其原因,进行进一步讨论得出相应的试验结果<sup>[3]</sup>。在此之前,很多学者在玉米分期播种的试验中取得过不少的成果<sup>[12-15]</sup>。蔡福<sup>[16]</sup>在庄河地区进行过相同的研究,但由于数据只有庄河地区一年的数据,缺乏代表性。因此,在前人的研究基础之上为了进一步补充现有资料并完善相关结论,本研究在辽宁省庄河、锦州两个地区开展连续3年的分期播种试验,针对温度变化对春玉米生长发育及产量的影响进行深入讨论,以为同类研究提供更完善的数据支持和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

分期播种试验分别在辽宁省庄河市和锦州市的玉米农田进行。两处试验场地均处于北温带,属暖温带湿润大陆季风性气候,并且都具有海洋性气候特征。历年(1970—2000年30年间,下同)平均温度 $10^{\circ}\text{C}$ 左右,年日照时数2400 h,日照百分率均在56%左右;年均降水量保持在750~800 mm之间,其中全年降水量的60%出现在7—8月;当地多为丘陵地貌,都是辽宁省很典型的农田类型。

### 1.2 试验设计

在分期播种试验中,需要对玉米生长的各个发育阶段进行分期观测,所以需要选择生育期较长的晚熟品种来进行试验。本次试验选取的玉米品种为丹玉39,生育期128 d左右,为当地具有代表性的晚熟品种。辽宁地区玉米的普遍播种时间为4月中下旬,为了更好地研究玉米生育期所需的最适温度条件,本次试验将播期依次进行了调整。2012—2014

年这三年间,庄河地区分为4月10日、4月20日、4月30日、5月15日、5月30日这5个播期,锦州地区分为4月20日、4月30日、5月10日、5月20日、5月30日这5个播期。每个播期分为4个重复小区,前3个分期用于对玉米发育期、叶龄、株高、密度、产量因素和产量结构进行分析和观测,第4个用于生长量的观测。种植密度约为 $4.2\text{株}\cdot\text{m}^{-2}$ 。在试验玉米生长期间,田间管理全部按照当地的生产管理方式进行,保证能够满足玉米生长的需求。

### 1.3 观测指标

观测了播种、出苗、三叶、七叶、拔节、大喇叭口、抽雄、吐丝、开花、乳熟、成熟期所出现的日期及这些发育期的叶龄、株高、茎粗、叶面积等;并对玉米产量结构进行了分析,包括有效株数、空秆株数、植株高度、穗位高度、雌穗所在叶的叶序数、地上茎节数、每节茎节长度、粗度、果穗长度、粗度、秃尖比、株籽粒重、百粒重、理论产量、茎秆重、籽粒与茎秆比等。上述观测方法严格按照《农业气象观测规范》执行。此外,在玉米播种至成熟阶段,观测日平均气温、最低气温、最高气温、日照、风速、水汽压、降水量,每旬逢3日、8日观测土壤重量含水率,计算出土壤相对湿度,观测土壤深度分别为20 cm和50 cm。

## 2 结果与分析

### 2.1 气象条件分析

2.1.1 玉米生育期日照时数、日最高气温、日最低气温和日平均气温分析 为了解玉米在不同发育期内的自然条件状况,给出了两个地区3年整个分期试验过程中玉米播种至收获期间的日平均气温、日最高气温、日最低气温和日照时数(见图1)。

从图1中可以看出两个试验区在5月5日之前和9月25日之后的日最低气温均在 $10^{\circ}\text{C}$ 以下,但都没有出现气温过低的情况,而在此日期之间的大部分时段都没有出现明显的低温现象。从日照时数的条件来看,两个地区各年份均在7月中、下旬出现过日照时间较少的情况,其它时间日照都比较充足。根据对当时两个地区的降水情况的对比来看,由于7月下旬的降水较多,导致日照时数下降。但在整个试验过程中光照条件是基本可以满足玉米生长需求的。因此,我们可以初步认为玉米生育期产量间的差异是由热量和水分差异所引起的。

2.1.2 玉米生育期土壤相对湿度实测值的分析 作物生长所需要的另外一个条件就是充足的水分供应,图2中显示了两个试验地区的各年份土壤相对湿度。

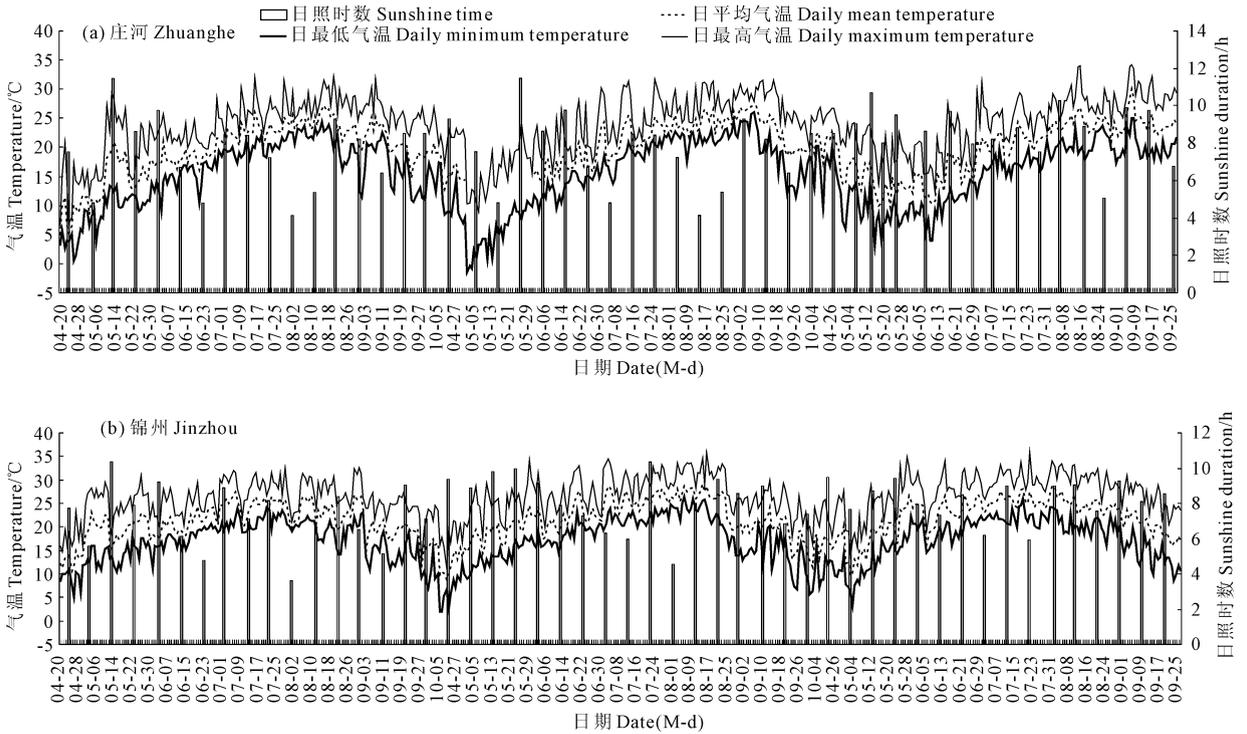


图 1 2012—2014 年玉米生育期内日照时数、日最高气温、日最低气温和日平均气温

Fig.1 Duration of sunshine, daily maximum temperature, minimum temperature and daily mean temperature of the maize growing period during 2012—2014

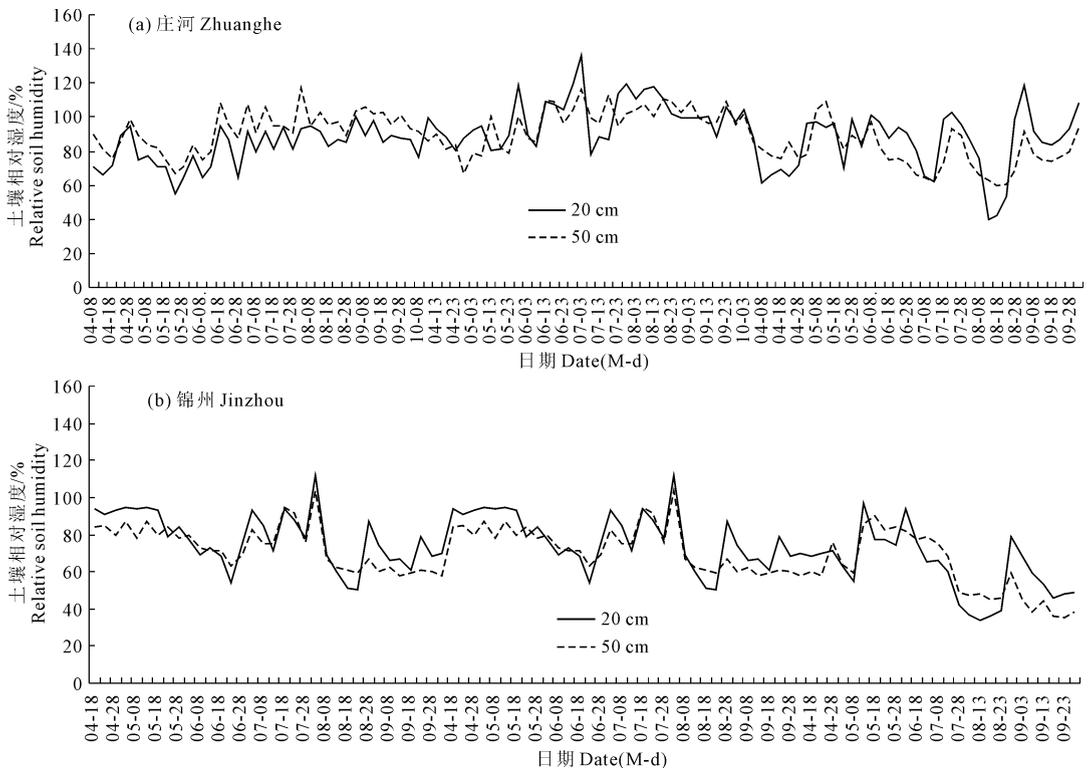


图 2 2012—2014 年试验期间土壤相对湿度实测值

Fig.2 Relative soil humidity of the actual measurement during 2012—2014

对于土壤水分条件而言,试验所在的两个地区各年份的土壤相对湿度大体相同。这里土壤相对湿度是指土壤含水量与田间持水量的百分比。2012

和 2013 两年中庄河地区和锦州地区的土壤相对湿度都比较稳定,均处于 60% 以上,只有在 2014 年的 7、8 月两个地区都出现了土壤相对湿度低于 60% 甚

至达到 40% 的轻、中度干旱时段(见图 2)。总体来说,从每个地区三年的土壤相对湿度数据来看,水分条件都可以满足玉米的生长需要,所以,在此期间产生的生育期以及产量的差异,我们有理由认为是由于热量的差异引起的。

### 2.2 分期播种玉米在不同发育期各个阶段出现时间的对比

**2.2.1 不同播期玉米发育阶段出现的日期** 从分期播种的各个发育期出现的日期来看(见图 3),各地区的前三个播期出苗的日期之间的差异基本都在 2~5 d,而播期间隔为 10 d,这表明过早播种并不一定能让玉米提前发育。后两个播期,发育期之间的时间间隔都在 9~12 d,而播种间隔为 15 d,这说明各个发育期之间的时间间隔变化不大,通过对比则可以说明播期的提前可以使后面的发育期也随之提前。以上情况可能是由于不同播期所经历的温度条件差异引起的,在下面的分析中将进一步说明。

**2.2.2 不同播期玉米发育期各个阶段平均 LAI 的对比** 在农作物的种植密度大致相同的情况下,叶面积指数(LAI)可以直接反映不同播期之间玉米的

群体长势(图 4)。在大喇叭口期之前,庄河与锦州两地各发育期 LAI 的差异都很小,庄河地区在玉米生长达到大喇叭口期时,各个播期 LAI 在 3.92~4.21 之间,锦州地区在 2.56~3.03 之间。从抽雄期开始,各播期 LAI 差异才开始增大,从图 4 中可以看出,庄河地区在抽雄~乳熟期 4 月 20 日和 5 月 15 日两个播期 LAI 较为稳定,说明干物质积累程度较大;而在锦州地区抽雄~乳熟期 5 月 10 日和 5 月 20 日两个播期 LAI 较为稳定。根据数值来看庄河地区在玉米生长达到抽雄期时,各播期 LAI 在 4.31~4.54 之间,在玉米生长达到乳熟期时,各播期 LAI 的大小在 3.76~4.41 之间,由最终测得的产量结果可以看出,产量较高的玉米播期为 5 月 15 日,相应的抽雄期 LAI 为 4.54,乳熟期时 LAI 为 4.16。同样的,锦州地区在玉米抽雄期时,各播期 LAI 在 2.90~3.83 之间,在乳熟期时,各播期 LAI 的大小在 3.50~4.10 之间,由最终测得的产量结果可以看出,产量高的播期为 5 月 20 日,相应的抽雄期 LAI 为 3.6,乳熟期 LAI 为 3.5。从以上分析可以看出,叶面积指数与播期之间没有明显的显著性关系,但在玉米抽

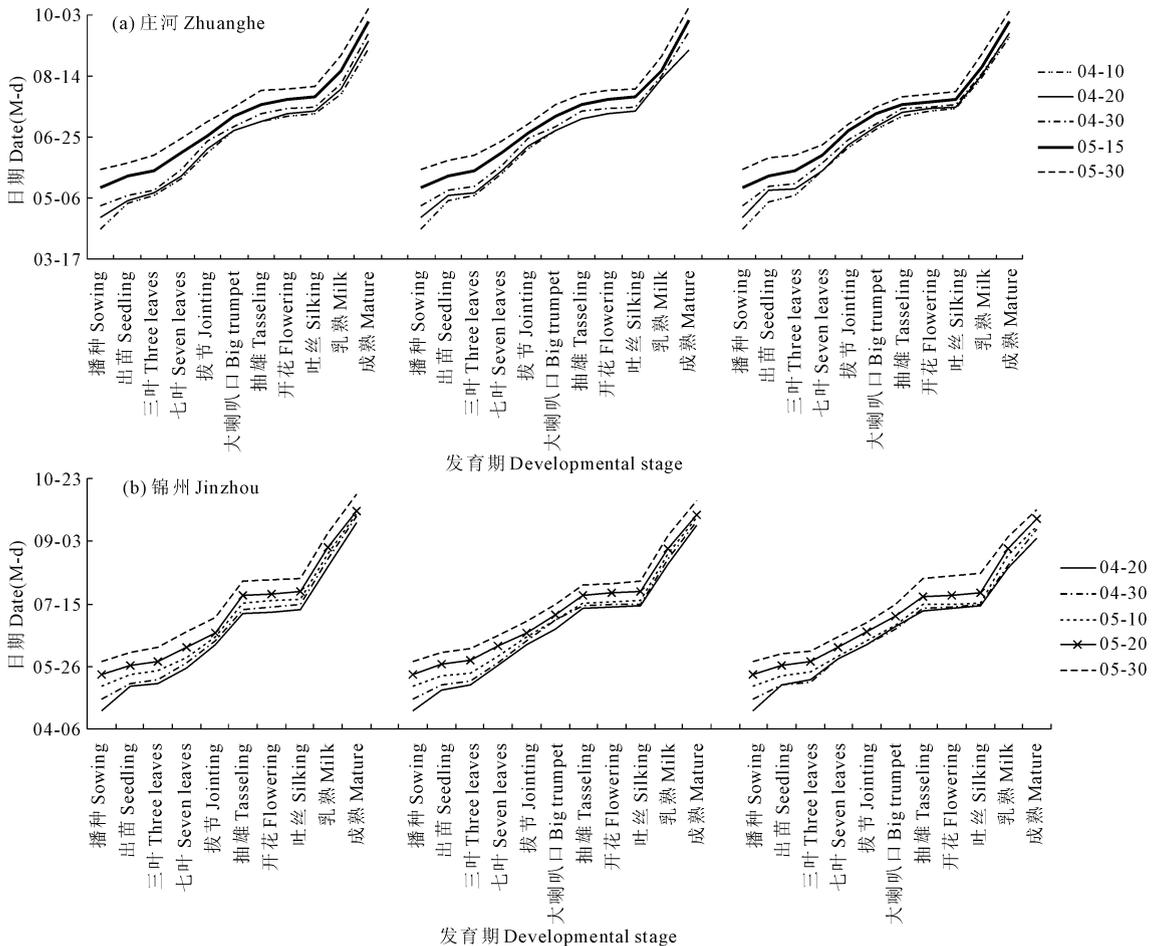


图 3 不同播期玉米各生育期出现的日期

Fig. 3 The start dates of the maize development period under different sowing dates

雄~乳熟期,干物质积累较为稳定的播期会使最终产量也有所提高,呈现出明显的对应关系。这种对应关系与之前讨论过的发育期出现的日期相吻合,

也说明适当晚播会使玉米更好地进行干物质积累,从而提高产量。

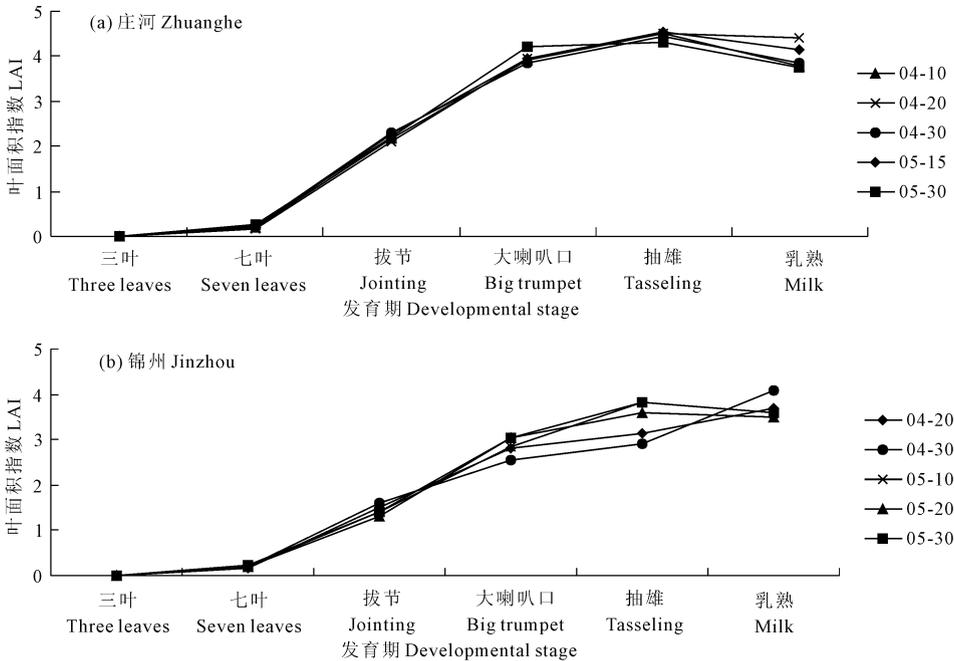


图 4 不同播期玉米不同发育阶段 LAI 变化情况对比

Fig.4 Comparison of leaf area index changes of maize under different sowing dates in different developmental stages

2.2.3 不同播期玉米发育期各个阶段持续时间的对比 将玉米的生长期大体分为播种~出苗、出苗~拔节、拔节~吐丝、吐丝~成熟 4 个生育阶段(见图 5)。播种~出苗阶段,随着播期的延后这一阶段的持续时间呈逐渐缩短的趋势,将该阶段持续时间与相应的温度数据对比,发现平均日最低气温与该阶段所持续的天数之间存在相关关系,日平均最高气温和日平均气温这两个指标与播种~出苗阶段持续天数的关系并不明显。因此认为播种~出苗阶段持续天数受到平均日最低气温的影响较大。通过线性拟合发现,随着平均日最低气温的升高,出苗所用的时间逐渐缩短,并且缩短的趋势会随着最低温的升高而减缓,当平均日最低气温达到 15℃后,出苗持续时间缩短的趋势逐渐放缓(图 6)。同样,出苗~拔节持续时间随着播期的延后逐渐缩短,这也可以解释为由于播期较晚,直接导致在玉米生长过程中所经历的日均温、日最高温度和日最低温度都有所升高。拔节~吐丝阶段,各播期持续时间没有明显差异,可能是因为这期间各项温度指标的差异随着气候不断变暖而逐渐减小,温度的变化不足以对玉米生长速度产生影响,即平均日均温都在 20℃以上,平均日最低气温都在 18℃以上。由图 5 可知,到了吐丝~成熟阶段,持续时间随着播期的延后而

延长,延长的幅度不十分明显,但趋势非常显著。因此认为,这是由于气候变化使得平均日均温和平均日最低气温都呈降低的趋势所造成的。可以说明在此阶段各项温度指标对玉米生长发育速度的影响较大。

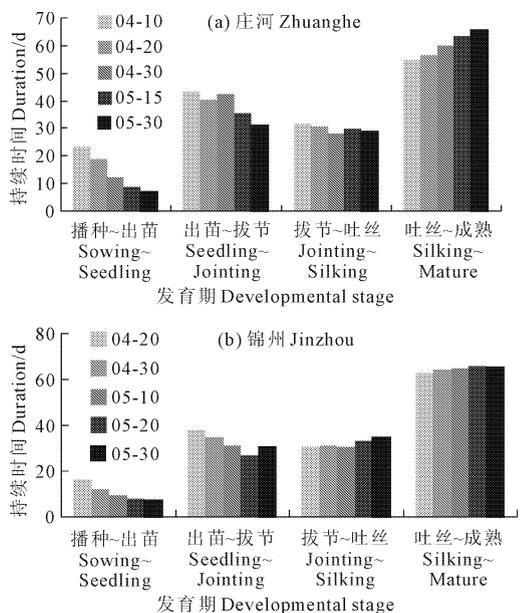


图 5 不同播期玉米发育期平均持续时间

Fig.5 The average durations of different maize developmental stages under different sowing dates

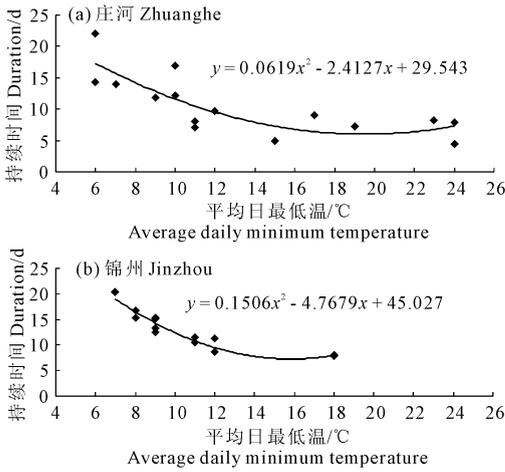


图6 平均日最低温与播种~出苗持续时间的关系

Fig. 6 The relationship between the average daily minimum temperature and the duration of sowing to seedling

### 2.3 吐丝~成熟期间 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温对玉米产量的影响

通过以上分析可以认为,吐丝~乳熟期 LAI 的变化情况虽然与干物质积累程度有关,但是并不能完全从 LAI 的情况来预测产量的多少。因此,决定产量的直接因素可能是灌浆期的持续时间以及这期间的热量条件。分别对庄河和锦州两地吐丝~成熟期的各播期活动积温与产量关系进行了拟合(见图7)。发现庄河与锦州两地玉米产量与吐丝~成熟期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温之间均为抛物线关系,其数学方程分别为  $y = -0.0017x^2 + 5.0922x - 3078.2$  和  $y = -0.0025x^2 + 7.7262x - 4908$  ( $y$  代表产量,  $x$  代表吐丝~成熟期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温),此期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温在  $1150 \sim 1550^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  之间时,产量随积温增加而增加,两地产量最高值所对应的吐丝~成熟期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温分别为  $1497.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  和  $1545.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。由此可见,玉米生长的优劣不仅与由平均日均温和平均日最低气温所影响的吐丝~成熟期持续时间有关,而且与该期间 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温也有很大关系。

### 2.4 吐丝~成熟期间平均气温日较差对玉米产量的影响

吐丝~成熟期的平均气温日较差对产量的影响与此期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温的影响是一致的(见图8),产量与吐丝~成熟期平均气温日较差的关系也为抛物线关系,庄河与锦州两地的方程分别为  $y = -37.373x^2 + 608.05x - 1793.9$  和  $y = -47.462x^2 + 799.12x - 2331.7$  ( $y$  代表产量,  $x$  代表吐丝~成熟期的平均气温日较差),产量最大值所对应的吐丝~成熟期平均气温日较差庄河与锦州两地区分别为  $8.1^{\circ}\text{C}$  和  $8.4^{\circ}\text{C}$ 。说明吐丝~成熟期  $8^{\circ}\text{C} \sim 8.5^{\circ}\text{C}$  的平均气温日较差有利于玉米在该期间的干物质积

累,从而提高产量。

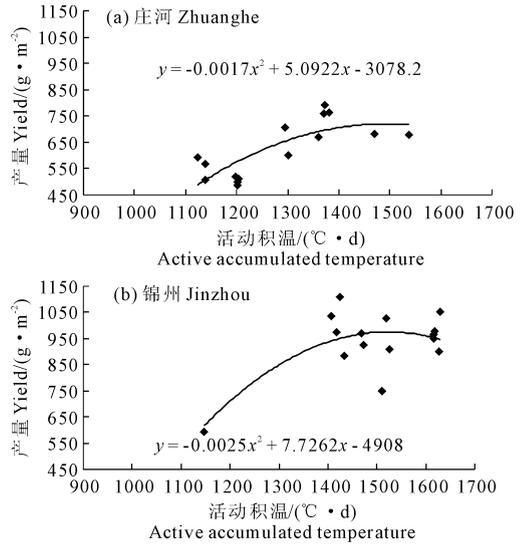


图7 吐丝~成熟期活动积温与产量之间的关系

Fig. 7 The relationship between the accumulated temperature of silking to maturity and yield

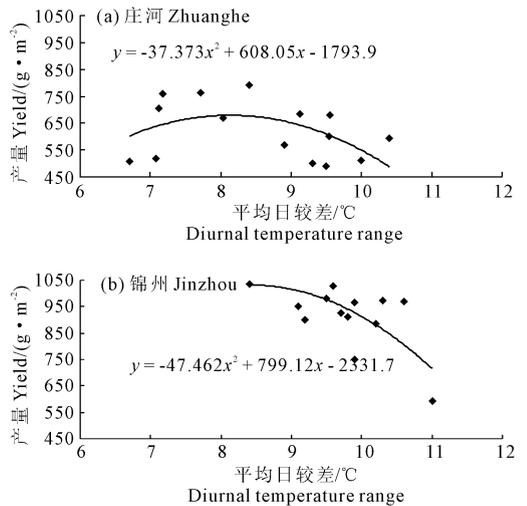


图8 吐丝~成熟期平均日较差与产量之间的关系

Fig. 8 The relationship between the diurnal temperature range of silking to maturity and yield

从上述分析可以看出,在整个生育期,日最低温度在  $15^{\circ}\text{C}$  左右时可以提高玉米生长初期的生长速率,而到了吐丝~成熟期的活动积温在  $1500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$  和日较差在  $8.0^{\circ}\text{C} \sim 8.5^{\circ}\text{C}$  之间时,才最有利于玉米产量的提高。而日最低气温因素对过早播种的处理影响较大,使出苗持续时间延长,并不能使玉米生长效率达到最大;但是过于晚播又会使之之后的灌浆阶段错过最适宜的活动积温和日较差时段。所以,只有适当选取播种时间,才有助于提高玉米的生长速率和产量。

## 3 讨论

本文中分期播种试验均在符合当地玉米生长气

候的条件下进行,因此可以用来说明热量条件的差异对玉米生长及产量的影响。蔡福等<sup>[16]</sup>利用辽宁省庄河市 2012 年的玉米分期播种试验进行过类似的研究,所得结论与本次试验相近,但并没有全面地得出各个生育阶段所需的最适温度具体数值范围。本试验结果认为随着平均日最低气温的升高,出苗持续时间不同程度缩短,表明随着温度的升高出苗速率逐渐加快,达到 15℃ 后速率再逐渐减慢。说明过早播种并不能使玉米出苗的时间提前,适当地延后播种时间,才有可能达到较高的效率。到了抽雄~吐丝期,整个时期的热量水平相对于其它阶段来说是处于一个较为稳定而且均值较高的范围内,即日均温都在 20℃ 以上,平均日最低气温都在 18℃ 以上,所以各个播期间并没有明显的差异。在整个灌浆期,随着播期的延后,各播期玉米在该阶段经历的温度条件均呈递减趋势,导致播期越晚该阶段持续时间越长。这足以说明热量条件对灌浆期有明显的影响,其中日较差和  $\geq 10^\circ\text{C}$  活动积温在此期间起到了重要作用。对于活动积温,即使再长的灌浆时间,如果没有达到一个较高的温度阈值,即气温日较差保持在  $8.0^\circ\text{C} \sim 8.5^\circ\text{C}$  范围内,活动积温保持在  $1\ 500^\circ\text{C}\cdot\text{d}$  左右,都将不会使产量最大化。同样,一定大小的日较差也是确保干物质积累的重要保障,过高或过低的日较差将抑制叶片干物质向籽粒转移。而对于平均日最低气温来说,较高或较低的平均日最低气温都会使玉米各个发育期的时间延长,只有在播种~出苗期间的平均日最低气温保持在  $15^\circ\text{C}$  左右时,才能使玉米生长速率达到最高,因此,在东北地区不应过早的进行播种。

综上所述,过早的播种对东北地区玉米来说并不会使产量有所提高,但过于晚播因灌浆期积温偏低导致产量下降,同时也由于平均日最低气温的降低使灌浆期延长,这样不仅产量下降,灌浆速率也会降低。由于气候变暖,玉米各生育期所经历的温度指标均有所升高,将导致发育期缩短,灌浆时间也可能减少,若日最低气温也升高将减小气温日较差,进而也将抑制干物质积累,最终导致产量降低。如果气候变冷,玉米生长期会产生不同程度的延长,从而把灌浆期出现的时间延后,灌浆期持续时间也随之延长,但由于大部分时间最低气温过低而不能保证干物质积累的顺利进行,也将导致产量的下降。因此,选择合理的播期是应对未来气候不断变化的情况之下保证较高产量的有效途径。

## 4 结 论

在光照和土壤相对湿度适宜的情况下,温度条

件是影响玉米各个发育期持续时间的直接因素,其中出苗、苗期及灌浆期对温度条件较为敏感,随温度升高而缩短,平均日最低气温在  $15^\circ\text{C}$  时出苗持续时间达到最短,过高或过低的温度都会使出苗持续时间延长,影响出苗速率。在营养生长阶段,随着播期的延后各项温度指标(日平均气温、最高气温、最低气温、 $\geq 10^\circ\text{C}$  活动积温)也随之发生变化,LAI 的差异出现在抽雄~乳熟阶段,在此阶段 LAI 波动幅度较小的播期干物质积累程度较好,根据结果来看,最终产量较高的播期也是 LAI 变化幅度较小的播期,因此得出结论,适当晚播会使玉米更好地进行干物质积累。由于受到气温日较差和活动积温两者的相互制约,玉米灌浆期气温日较差保持在  $8.0^\circ\text{C} \sim 8.5^\circ\text{C}$  范围内,积温保持在  $1\ 500^\circ\text{C}\cdot\text{d}$  左右时,才最有利于产量的提高。

## 参 考 文 献:

- [1] 屈振江. 陕西农作物生育期热量资源对气候变化的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(1): 75-79.
- [2] Borrás L, Zinselmeier C, Senior M L, et al. Characterization of grain-filling patterns in diverse maize germplasm[J]. Crop Sci, 2009, 49(3): 999-1009.
- [3] 马树庆, 王 琪, 王春乙, 等. 东北地区玉米低温冷害气候和经济损失风险分区[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 1169-1177.
- [4] 米 娜, 张玉书, 蔡 福, 等. 未来气候变化对东北地区玉米单产影响的模拟研究[J]. 干旱地区资源与环境, 2012, 26(8): 117-123.
- [5] 王宗明, 宋开山, 李晓燕, 等. 近 40 年气候变化对松嫩平原玉米带单产的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(9): 112-117.
- [6] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2199-2206.
- [7] 张 宇, 王石立, 王馥棠. 气候变化对应我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 265-270.
- [8] 金之庆, 葛道阔, 郑喜莲, 等. 评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响[J]. 作物学报, 1996, 22(5): 513-524.
- [9] 姚凤梅, 许吟隆, 徐 宾. 中国东北稻区气象产量时空分布和周期性变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2005, 26(增刊): 31-36.
- [10] 熊 伟, 许吟隆, 林而达, 等. IPCC SRESA2 和 B2 情境下我国玉米产量变化模拟[J]. 中国农业气象, 2005, 26(1): 11-15.
- [11] 胡亚南. 气候变化对中国玉米生产的影响及适应性研究[D]. 北京: 中国农业科学研究院, 2008.
- [12] 孙玉亭, 赵洪凯. 玉米冷害及冷害指标鉴定[J]. 农业气象, 1980, 1(1): 39-44.
- [13] 何维勋, 曹永华. 玉米展开叶增加速率与温度和叶龄的关系[J]. 中国农业气象, 1990, 11(3): 30-33.
- [14] 马树庆, 王 琪, 罗新兰. 基于分期播种的气候变化对东北地区玉米 (*Zea mays*) 生长发育和产量的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2131-2139.
- [15] 王 琪, 马树庆, 郭建平, 等. 温度对玉米生长和产量的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(2): 255-260.
- [16] 蔡 福, 明慧青, 赵先丽. 温度条件对辽宁南部玉米生长发育和产量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(2): 1003-7578.