

## 摘 要

全球气候变暖极大影响了目前的作物生产，适宜的播期和种植密度是玉米稳产高产的重要保证，为此，以玉米品种郑单 958 (ZD958) 为试验材料，于 2020 年和 2021 年在川东北地区（四川南充）进行试验，设置 S1（3 月 25 日）、S2（4 月 20 日）、S3（5 月 15 日）三个播种日期，同时每个播期下设置四个密度，分别为 D1（45000 株/hm<sup>2</sup>）、D2（52500 株/hm<sup>2</sup>）、D3（60000 株/hm<sup>2</sup>）、D4（67500 株/hm<sup>2</sup>），研究不同处理对玉米产量、干物质积累、叶面积指数，灌浆等方面的影响，明确该地区适宜的播期和种植密度，为川东北地区玉米的稳产高产提供理论依据。主要研究结果如下：

1、随着播期的推迟，玉米产量呈下降趋势，早播处理（S1）玉米籽粒产量显著提高 9.43%~92.35%。随着密度的增加玉米产量呈现先增加后降低趋势，适宜种植密度 D3（60000 株/hm<sup>2</sup>）下玉米产量提高 9.31%~26.71%。S1D3 互作产量最高为 10577.95kg/hm<sup>2</sup>，适期早播可以增加该地区玉米籽粒产量，密度过高或过低均不利于籽粒产量的形成。

2、花前干物质积累为 S2（2020 年）和 S1（2021 年）下最高，D3 和 D4 处理相对较高，适宜的播期（S1）可以显著提高玉米花后和成熟期干物质积累量，且随着播期的推迟，适当的增加密度也有利于玉米花后和成熟期干物质的积累量的增加。总体上花后干物质积累量以 S1D2 处理最高，2020 年和 2021 年分别为 9492kg/hm<sup>2</sup> 和 10188kg/hm<sup>2</sup>。成熟期干物质的积累量，总体上以 S1D2 和 S1D3 处理干物质积累量最高，S1D2 两年分别为 15885kg/hm<sup>2</sup> 和 17319 kg/hm<sup>2</sup>，S1D3 两年分别为 15487 kg/hm<sup>2</sup> 和 18062 kg/hm<sup>2</sup>。

3、S1 更有利于玉米百粒重的提高（吐丝后 20 天除外），不同生育期下比 S2 和 S3 处理高 15.48%~62.31%，密度过高或过低均不利于玉米百粒重的形成，D2 和 D3 处理相对较高。适期早播有利于提高玉米中后期灌浆增加比率（吐丝 20 至 30 天），玉米籽粒灌浆增加比率受到播期和密度的共同影响。

4、叶面积指数整体上随播期的推迟呈现下降趋势，随密度的增加呈现先增加后降低的趋势，叶片 SPAD 值随播期的延迟整体呈下降趋势，随着密度的增加呈现降低趋势。但在不同播期下最高叶面积指数的密度处理不尽相同，在不同生育时期也存在差异。

综上所述，适宜的播期和种植密度有利于玉米的生长发育和产量提高，S1D3 处理在玉米产量、干物质积累和灌浆等方面均表现较好，在川东北地区适时早播（3 月 25 日），种植密度在 6 万株/hm<sup>2</sup> 时更有利于玉米生长发育和产量的形成，适宜在该地区推广，适当的增加种植密度可以在一定程度上缓解晚播（温度升高）带来的危害。研究结果可以为未来气候变暖下适宜种植密度的选择提供理论依据。

**关键词：**玉米；播期；密度；生长发育；产量

# 目 录

摘要 .....	I
Abstract .....	III
第 1 章 前言 .....	1
1.1 研究意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	1
1.2.1 玉米当前生产概况 .....	1
1.2.2 播期对玉米产量的影响 .....	2
1.2.3 播期对玉米生长发育的影响 .....	3
1.2.4 密度对玉米产量的影响 .....	4
1.2.5 密度对玉米生长发育的影响 .....	5
1.3 研究的主要内容及技术路线 .....	6
1.3.1 研究目标 .....	6
1.3.2 研究内容 .....	6
1.3.3 技术路线 .....	7
第 2 章 材料与方法 .....	8
2.1 试验区域概况 .....	8
2.2 试验材料 .....	8
2.3 试验设计 .....	8
2.4 测定项目与方法 .....	8
2.4.1 产量测定 .....	8
2.4.2 百粒重测定 .....	8
2.4.3 干物质测定 .....	8
2.4.4 叶面积 (LAI) 测定 .....	8
2.4.5 叶绿素含量 (SPAD) 测定 .....	9
2.5 数据分析 .....	9
第 3 章 结果与分析 .....	10

---

3.1	播期与种植密度对玉米产量的影响 .....	10
3.2	播期与种植密度对玉米干物质积累量的影响 .....	12
3.2.1	播期与种植密度对玉米开花前干物质积累量的影响 .....	12
3.2.2	播期与种植密度对玉米开花后干物质积累量的影响 .....	14
3.2.3	播期与种植密度对玉米成熟期干物质积累量的影响 .....	16
3.3	播期与种植密度对玉米籽粒百粒重的影响 .....	18
3.3.1	播期对玉米籽粒百粒重的影响 .....	18
3.3.2	种植密度对玉米籽粒百粒重的影响 .....	19
3.4	播期与种植密度对玉米籽粒灌浆增加比率的影响 .....	21
3.4.1	播期对玉米籽粒灌浆增加比率的影响 .....	21
3.4.2	种植密度对玉米籽粒灌浆增加比率的影响 .....	21
3.5	播期与种植密度对玉米生育后期叶片衰老率的影响 .....	24
3.6	播期与种植密度对玉米叶面积指数的影响 .....	25
3.6.1	播期与种植密度对玉米吐丝期叶面积指数的影响 .....	25
3.6.2	播期与种植密度对玉米吐丝后 10 天叶面积指数的影响 .....	26
3.6.3	播期与种植密度对玉米吐丝后 20 天叶面积指数的影响 .....	26
3.6.4	播期与种植密度对玉米吐丝后 30 天叶面积指数的影响 .....	27
3.6.5	播期与种植密度对玉米成熟期叶面积指数的影响 .....	28
3.7	播期与种植密度对 SPAD 值的影响 .....	29
3.7.1	播期与种植密度对吐丝期玉米 SPAD 值的影响 .....	29
3.7.2	播期与种植密度对灌浆期玉米 SPAD 值的影响 .....	30
3.7.3	播期与种植密度对乳熟期玉米 SPAD 值的影响 .....	31
第 4 章	讨论 .....	32
4.1	播期与种植密度对玉米产量的影响 .....	32
4.2	播期与密度对玉米干物质积累量的影响 .....	32
4.3	播期与密度对玉米百粒重和灌浆增加比率的影响 .....	33
4.4	播期与密度对玉米叶片衰老和叶面积指数的影响 .....	33
第 5 章	结论 .....	34

---

## Abstract

Global warming has greatly affected the current crop production, and suitable sowing date and planting density are important to ensure stable and high yield of maize. For this reason, the maize variety Zhengdan 958 (ZD958) was used as the test material and three sowing dates S1 (March 25), S2 (April 20) and S3 (May 15) were set in 2020 and 2021 in northeast Sichuan (Nanchong, Sichuan). Meanwhile, four densities were set under each sowing period, D1 (45000 plants/hm<sup>2</sup>), D2 (52,500 plants/hm<sup>2</sup>), D3 (60,000 plants/hm<sup>2</sup>), and D4 (67,500 plants/hm<sup>2</sup>), to study the effects of different treatments on maize yield, dry matter accumulation, leaf area index, and filling, etc., to clarify the suitable sowing period and planting density in the region, and to provide a theoretical basis for This study was conducted to determine the appropriate sowing period and planting density for the stable and high yield of maize in northeastern Sichuan. The main results of the study are as follows:

1. With the delay of sowing, maize yield showed a decreasing trend, and maize seed yield was significantly increased by 9.43% to 92.35% in early sowing treatment (S1). The highest yield of S1D3 intercropping was 10577.95kg/hm<sup>2</sup>, so early sowing at the right time can increase the grain yield in this area, but too high or too low density is not conducive to the formation of grain yield.

2. Pre-flowering dry matter accumulation was highest under S2 (2020) and S1 (2021), and relatively higher under D3 and D4 treatments. Suitable sowing period (S1) could significantly increase dry matter accumulation at post-flowering and maturity stages of maize, and with the delay of sowing period, appropriate increase of density was also beneficial to the increase of dry matter accumulation at post-flowering and maturity stages of maize. Overall post-flowering dry matter accumulation was highest in S1D2 treatment with 9492kg/hm<sup>2</sup> and 10188kg/hm<sup>2</sup> in 2020 and 2021, respectively. The accumulation of dry matter at maturity was generally highest in S1D2 and S1D3 treatments, with 15885kg/hm<sup>2</sup> and 17319kg/hm<sup>2</sup> in S1D2 and 15487 kg/hm<sup>2</sup> and 18062 kg/hm<sup>2</sup> in S1D3 for two years, respectively.

3. S1 was more favorable to the increase of maize 100-grain weight (except 20 days after spat), 15.48% to 62.31% higher than S2 and S3 treatments at different fertility stages, and either too high or too low density was not favorable to the formation of maize 100-grain weight, D2 and D3 treatments were relatively higher. The early sowing at the right time was beneficial to increase the rate of increase of maize grain filling in the middle and late stages (20 to 30 days of spatulation), and the rate of

increase of maize grain filling was influenced by both sowing date and density.

4. Leaf area index showed an overall decreasing trend with delay in sowing and an increasing trend with increasing density, and leaf SPAD values showed an overall decreasing trend with delay in sowing and a decreasing trend with increasing density. However, the density treatments of the highest leaf area index under different sowing periods were different and differed during different fertility periods.

In summary, suitable sowing date and planting density are beneficial to the growth and development of maize and yield improvement, and S1D3 treatment performed better in maize yield, dry matter accumulation and filling. In northeastern Sichuan, the sowing date of March 25 and planting density of 60,000 plants/hm<sup>2</sup> are more favorable to maize growth and development and yield formation, and are suitable for promotion in this region. Appropriate increase in planting density can alleviate the harm caused by late sowing (temperature increase) to a certain extent. The results of the study can provide a theoretical basis for the selection of suitable planting density under future warming.

**Key words:** maize; sowing date; density; growth and development; yield

## 第1章 前言

### 1.1 研究意义

玉米 (*Zea mays* L.) 是我国重要粮食作物之一, 在化工业、畜牧业以及食品加工等方面也有广泛应用, 玉米的稳产高产对我国粮食安全影响重大。在当今全球变暖的趋势下<sup>[1-4]</sup>, 部分地区玉米的生育期缩短, 干物质积累减少、灌浆时间缩短和光热资源利用率降低, 从而导致产量显著降低<sup>[5]</sup>。为此, 我国很多学者通过对种植技术等方面的改进, 探索提高玉米产量的适宜栽培技术<sup>[6-7]</sup>。

播期是影响玉米籽粒产量的重要因子之一。大量研究表明, 适当提前播种日期可显著增加玉米平均叶面积指数和生育期天数, 使玉米产量构成因子更加协调, 有利于产量的提高。张书萍等<sup>[8]</sup>研究表明, 玉米株高、行粒数、穗位高等相关农艺指标的显著降低都与播期的推迟相关, 玉米产量随播期的推移下降。玉米的籽粒灌浆速率和百粒重降低, 从而引起产量降低<sup>[9]</sup>; 但相反研究认为晚播春玉米产量更高, 认为晚播可以显著提高玉米的物质积累速率, 生物量显著提高<sup>[10]</sup>。张子山等<sup>[11]</sup>认为生育后期是玉米产量形成的关键期, 晚播玉米有效积温少, 发育期短, 叶片衰老时间提前, 不利于玉米产量的形成。马树庆等<sup>[12]</sup>提出, 叶面积指数和有效积温呈正相关关系, 晚播会加速玉米叶片衰老。因此, 在不同区域内播期对玉米籽粒产量的影响存在差异。

密度是影响玉米群体和个体间协调关系的重要因子, 种植密度过高会导致群体郁蔽, 个体瘦弱, 进而致使植株抗倒性差, 结实性差。薛吉全等<sup>[13]</sup>研究认为, 源库关系是玉米获取高产量的重要影响因素, 适宜的种植密度可以有效的调控源库关系从而提高玉米产量。而杨今胜等<sup>[14]</sup>和郑毅等<sup>[15]</sup>的研究指出, 盲目地提高种植密度, 会引起玉米群体间的透光率下降, 加快叶片衰老的进程, 致使玉米冠层中下部叶片早衰, 韩晨光等<sup>[16]</sup>人研究发现, 种植密度过高会缩短叶片的功能期, 使叶片衰老速率显著增加。

近年来, 国内外学者关于播期对玉米产量和生长发育方面做了大量研究, 以往多数研究只考虑了播期或者密度单一因子对玉米产量和生长发育的研究, 关于不同播期和种植密度下川东北地区玉米产量和生长发育的变化方面尚缺乏系统研究。因此, 探寻该地区玉米不同播种日期和种植密度对玉米生长发育和产量形成的影响, 明确不同播期下玉米对种植密度的响应机制, 对于川东北地区玉米产业发展具有重要意义, 同时也通过播期人为改变玉米生育期内温度等气候因子的分布(模拟未来的气候变化), 为未来气候变化下该地区玉米产量和生长发育规律提供理论依据。

### 1.2 国内外研究现状

#### 1.2.1 玉米当前生产概况

玉米是全球产量最大的粮食作物, 也是世界上分布最广的谷类作物, 从北纬

58° 到南纬 35° 的地区均有种植。玉米生产国超过 100 个, 但最适于种植玉米的地区有 3 个“玉米带”: 美国玉米带、中国玉米带和欧洲多瑙河玉米带<sup>[17]</sup>。玉米也是我国第一大作物, 并且是重要的饲料用粮和工业用粮<sup>[18,19]</sup>, 在保障国家粮食安全中占有重要地位<sup>[20-22]</sup>。2020 年中国玉米产量 2.61 亿吨, 占粮食总产量的 38.9%。2010~2020 年, 中国玉米产量年均增长率为 2.66%, 其中面积增长的贡献率为 53.6%, 单产增长的贡献率为 46.4%。2020 年玉米总消费量达 2.87 亿吨, 其中饲料需求约占 66%, 工业需求约占 26%, 直接消费等其他需求约占 8%。我国目前示范田最高单产: 玉米 2.275 66 万 kg/hm<sup>2</sup>、水稻 1.723 5 万 kg/hm<sup>2</sup>、冬小麦 1.461 万 kg/hm<sup>2</sup>、大豆 6 320.6kg/hm<sup>2</sup>。我国玉米高产纪录分别是水稻、小麦和大豆高产纪录的 1.32 倍、1.56 倍和 3.60 倍<sup>[23]</sup>。尽管我国玉米种植面积在近 60 年增长了 4~5 倍, 总产量增加了 10 倍以上。但是, 单位面积产量与美国相比仍有差距, 2020 年, 我国玉米单产仅为美国的 60%<sup>[24]</sup>。我国玉米产地主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游平原<sup>[25]</sup>, 但目前种植面积已很难继续扩大, 玉米总产的提高主要依赖于玉米单产的提高, 玉米在西南地区也广泛种植, 玉米是四川第二大粮食作物, 播种面积和总产在全省粮食作物播种面积及总产量中分别占 29%、30%, 居水稻之后。2020 年玉米种植面积达到 2775 万亩, 总产 1068 万吨。同时四川也是玉米消费大省, 产需缺口达到 900 万吨左右, 玉米自给率不足 60%<sup>[26]</sup>。同时, 玉米也是川东北地区(达州、巴中、南充、广安 4 个市)重要的粮食作物和饲料原料, 常年玉米种植面积 30 万 hm<sup>2</sup>, 总产 176 万 t, 占全省玉米总产的 30%<sup>[27]</sup>。

气候是影响玉米产量的重要因素之一, 当前全球气候变暖形势日渐严峻。有研究表明<sup>[28]</sup>, 气候变暖是玉米和其他主要粮食作物产量下降的重要因素, 玉米对于气候变暖具有高度敏感性, 气温上升 1°C, 造成世界玉米减产 3%~12%。1880~2012 年, 1951~2012 年全球平均气温上升 0.85°C, 全球升温速率是 0.12°C/十年, 比 1986~2005 年高, 21 世纪中后期全球平均气温可能上升 1~2°C 和 1~3.7°C, 且 2100 年之后仍将持续变暖。1980~2008 年间, 气候变化使世界玉米产量下降 3.8%。川东北地区为四川主要伏旱区, 伏旱频率较高, 全区伏旱频次为 45%~79%之间, 只有万源和南江北部伏旱频次低于 50%, 其余区县均为 60%以上, 以南部、南充、广安区、岳池、大竹和邻水发生最多, 均为 70%以上。川东北伏旱主要影响春玉米的灌浆结实, 夏玉米的抽雄, 授粉及灌浆。因伏旱出现时常伴有高温, 给玉米生产造成很大影响。从四川农业统计年鉴资料统计, 2006 年发生的川渝地区特大伏旱, 相较 2005 年川东北地区玉米单产平均减产 562.5kg/hm<sup>2</sup>, 减产率达 10%左右, 达州市和南充市减产率都约在 15%<sup>[27]</sup>。气候变暖导致该地区高温干旱等情况更加显著, 而玉米生长受温度等气候条件影响较大, 从而对玉米产量的稳产高产产生影响<sup>[29-31]</sup>。

### 1.2.2 播期对玉米产量的影响

播期是提高农作物产量的核心因素之一, 何时播种直接关系到农作物各阶段的



生长发育以及它对气候资源等条件的利用程度，播期的合理选择是使作物获得高产的至关重要的一点<sup>[32]</sup>。播期是通过玉米生长发育期间的光、热的作用，实现对水、土壤及其他生态因子差异性吸收，从而改变产量，在不同播期条件下，玉米生长发育及产量变化有显著差异<sup>[33]</sup>。玉米生育期的长短直接关系到它对光热资源的利用，从而对玉米的产量造成较大影响。除此以外，关于播期对玉米产量影响的研究，目前国内外已有较多报道<sup>[10,34-36]</sup>。总体来说，以两大观点为主。一是晚播对玉米产量影响明显，付华等<sup>[37]</sup>研究表明，随播期推迟玉米生育期缩短，播期每推迟1天，生育期缩短0.3天，产量减少0.7%~1.7%，生育期缩短主要表现在出苗至抽雄阶段。王韵翔等<sup>[38]</sup>以临奥1号、湘农玉27号和郑单958为研究对象，分别进行推迟播期处理，随着播期推迟，3个品种的产量均下降，且播种日期越晚，产量降低幅度越大。王文琼等<sup>[39]</sup>、魏玉君<sup>[40]</sup>研究认为晚播会使穗粒数、百粒质量显著降低，秃尖长和秃尖率随着播期的推迟而逐渐增大，导致晚播产量的降低。二是适时早播可以延长玉米的有效生长期，最大程度地利用气候资源，促使玉米成熟充分，并降低籽粒含水量，确保玉米优质丰产。吕丽华等<sup>[41]</sup>在河北省农科院研究发现，不同夏玉米产量受收获期和播期的共同影响，经回归分析得出夏玉米每提早播种1天，产量平均增加98.4 kg/hm<sup>2</sup>，每推迟收获1天，平均增产103.3 kg/hm<sup>2</sup>。肖荷霞等<sup>[42]</sup>研究认为适时早播，可以提高有效积温，增加玉米有效生长期，籽粒灌浆期也相应增加，因而能累积更多干物质，利于玉米获得较高产量。但刘明等<sup>[10]</sup>却认为早播春玉米前期作物生长发育受到限制，而晚播春玉米植株生长旺盛具有较优叶面积指数，有利于干物质积累并向籽粒转移，减少籽粒败育增加穗粒数，在春玉米播期的选择上不应单纯考虑生育期的长短。因此，在不同地区关于播期对玉米产量和生长发育的研究仍存在争议，可能与玉米生长当地具体的环境因子有关。

### 1.2.3 播期对玉米生长发育的影响

由于播期的变化，玉米在关键生育期的光、温等资源会随之变化，也就必然对玉米生长发育产生影响。播期对玉米生长发育的影响一方面是对玉米生长发育进程影响<sup>[43-48]</sup>，近年在玉米灌浆特性<sup>[44,49-52]</sup>和干物质累积<sup>[53-56]</sup>方面研究较多。豆攀等<sup>[33]</sup>对川中丘区玉米的研究发现，早播利于提高开花后的干物质累积量，随播期的延迟，玉米生育期变短，干物质累积量降低。魏雯雯等<sup>[57]</sup>研究发现随着播期推迟，各品种玉米生育期均不同程度缩短，并且播期越晚，干物质累积量越低。李向岭等<sup>[58]</sup>研究认为夏玉米提早播种干物质累积量和产量均增加。适当提前播种可增加玉米平均叶面积指数和生育期天数，使玉米产量构成因子更加协调，有利于产量的提高。李友亮等<sup>[59]</sup>研究发现播期对玉米的干物质积累、籽粒灌浆及产量均存在一定影响。续创业等<sup>[60]</sup>和武艳芍等<sup>[61]</sup>研究认为不同播期对玉米生育期、籽粒灌浆时间的长短、农艺性状和最终产量均有较大影响。

同时，有研究表明播期调控可以协调玉米产量形成过程中的主要的环境因子，

合理的提早播种可以增加作物有效积温，延长有效生长期，积累更多的干物质，是提高玉米产量的关键因素<sup>[62]</sup>。灌浆期是影响禾谷类作物生长发育的关键阶段，其时间与灌浆速度直接决定着最后的籽粒重量，是产量的主要构成因子之一。玉米籽粒灌浆速率与品种的遗传因素和环境因素密切相关，受基因的加性效应控制和环境因素影响，而播期主要通过调节光热资源进而影响籽粒灌浆过程<sup>[63]</sup>。适当早播有利于玉米籽粒灌浆，最大百粒重不仅与平均灌浆速率呈显著正相关，而且与最大灌浆速率出现时间和最大灌浆速率也呈显著正相关关系，最大灌浆时间出现越迟，灌浆速率保持上升趋势的时间越长，利于灌浆结实。王小春等<sup>[64]</sup>研究了在各种播期条件下籽粒灌浆成型特性参数与粒重之间的差异。灌浆期低温对于玉米籽粒的发育有较大影响。在同一生态区，播期主要是通过灌浆期温度和灌浆持续期来影响粒重<sup>[65]</sup>。在川东北地区不同播期对玉米的干物质积累与灌浆速率等影响机制尚不明确。

#### 1.2.4 密度对玉米产量的影响

我国与美国玉米高产纪录仍存在差距，我国玉米高产纪录田最大密度为 7.0 万株/hm<sup>2</sup>，低于美国 10.9 万株/hm<sup>2</sup><sup>[66]</sup>。而增加种植密度已是公认的增加玉米产量的有效途径之一<sup>[67-71]</sup>。近几十年，美国玉米种植密度对产量增加的贡献为 8.5%~17%<sup>[72]</sup>，在我国贡献更大为 13%~20%<sup>[73]</sup>。对玉米而言，科学且适宜的种植密度因其栽种的地理位置、生长的环境条件和最终的使用途径的不同而有所差异，且各系列品种间由于耐密性不同差异也较为突出<sup>[74,75]</sup>。据前人研究，玉米产量随种植密度增加而增加，达到一定密度后产量下降，产量呈现先增加后减少的趋势。佟屏亚等<sup>[76]</sup>研究表明，低密度时，产量和种植密度有正相关性，随着种植密度的不断上升，一定程度后，玉米产量反而下降。其中，王楷等<sup>[77]</sup>研究，产量与密度呈抛物线关系，密度越高，产量变幅越大，密度越高产量越不稳定。马兴林<sup>[78]</sup>等认为，密度过大和过小，均对玉米产量的增加不利。过高的玉米种植密度，却造成玉米产量的下降，只有种植密度设置得当，以保证玉米产量的最大限度<sup>[79-81]</sup>。薛吉全等<sup>[13]</sup>研究认为，源库关系是玉米获取高产量的重要影响因素，调整种植的密度是玉米源库关系调节的重要手段，适宜的种植密度是通过协调玉米群体的库源关系，使群体效应得到最大的发挥，从而使玉米获得高产。李宗新等<sup>[82]</sup>也认为适宜的种植密度可以达到强源和扩库的作用从而提高玉米产量。吕凤山等<sup>[83]</sup>研究结果表明，玉米种植密度较低时，增产的关键是要扩大玉米的群体库容，这就说明低密度时玉米增产的限制因素是库；当密度增加时，虽然群体库容量会相应加大，但是群体源的供应能力却不足，这表明玉米在高密度条件时，源又变成影响产量进一步增加的限制因素。在生产过程中，要实现玉米丰产、稳产，因地制宜、适当密植和协调群体库源关系至关重要。因此，科学合理的种植密度旨在使各植株能充分利用各类营养物质，提高光合效率，使个体发育健壮、群体生长协调，实现高产的目的。种植密度过高或过低都不利于植株

的正常生长，密度过高，群体间通风透光变差，营养物质竞争激烈，致使植株长势变弱，导致作物产量下滑；密度过低，各植株间漏光严重，光能损失大，也会造成严重减产<sup>[84]</sup>。

### 1.2.5 密度对玉米生长发育的影响

密度对玉米生长发育的影响，一是在玉米干物质积累方面具有重要影响，前人研究认为单株干物质积累量随种植密度的加大而减少，而群体干物质产量在一定密度范围内随种植密度增加而增加。其中杨吉顺等<sup>[85]</sup>发现种植密度为 90000 株/hm<sup>2</sup> 时，单株干物质积累量最高，卢海博等<sup>[86]</sup>是在 75000 株/hm<sup>2</sup> 时最高。而刘春晓等<sup>[87]</sup>研究表明，玉米群体干物质积累量表现为随密度的递增而增加，当种植密度超过 82500 株/hm<sup>2</sup> 时，群体干物质积累量达到最高不再增加。二是在群体光合作用方面具有显著影响，主要体现在随着玉米种植密度变大，叶片遮挡会造成光照不足、光合产物减少，叶夹角、叶宽和叶面积降低<sup>[88-90]</sup>，叶绿素相对含量、净光合速率降低<sup>[91-93]</sup>，而叶面积指数会随种植密度增加而增加，在灌浆期达到最大值，而后下降。与此同时，随着种植密度的变化，叶片可溶性糖、蛋白含量以及玉米灌浆特性、脱水特性也随着影响。三是密度的增加，会伴随着玉米倒伏风险的加剧，从而影响玉米生长发育<sup>[94-98]</sup>。王祥宇等<sup>[95]</sup>人研究发现，密度为 97500 株/hm<sup>2</sup> 的玉米登海 618 倒伏率达 7.22%。四是郑毅等<sup>[15]</sup>研究指出，盲目地提高种植密度，会引起玉米群体间的透光率下降，加快叶片衰老的进程，致使玉米冠层中下部叶片早衰，韩晨光等<sup>[16]</sup>研究发现，高密度处理后的过氧化物、超氧化物、保护酶活性以及叶片 SPAD 值均小于较低密度的处理，种植密度过高会使玉米下部叶片生长环境变差，缩短了叶片的功能期，使叶片衰老速率显著增加。

提高种植密度是增加玉米产量的重要举措，但种植密度增加会显著影响籽粒灌浆及脱水进程<sup>[99,100]</sup>，进而影响玉米产量及收获性能。玉米种植密度的不断增加，使生育后期个体植株对光、水、肥的竞争加剧，影响玉米籽粒灌浆速率<sup>[101]</sup>。选择早熟品种会导致玉米单株产量降低，而增加种植密度是获取高产的主要途径<sup>[102]</sup>。在一定范围内，随种植密度增加玉米籽粒灌浆活跃时期延长，灌浆速率减小<sup>[103]</sup>。种植密度对籽粒平均灌浆速率影响较小，平均灌浆速率主要受基因型的控制<sup>[104]</sup>。冯鹏等<sup>[105]</sup>和谭福忠等<sup>[106]</sup>研究表明，种植密度对玉米籽粒生理成熟前的平均脱水速率和含水率影响不显著，而对生理成熟后的脱水速率和含水率影响较大。刘霞等<sup>[107]</sup>以鲁单 981（大颗粒），泉星 2101（细小粒状型）两种不同颗粒玉米种子为实验材料，研究了三种栽培密度变化对玉米籽粒灌浆进度，产出和品质的负面影响。试验结果显示，提升栽培密度变化可以加快单面积玉米产出，加快了大颗粒种类。付健等<sup>[108]</sup>研究了不同栽培方法和密度对灌浆速度的影响。试验结果显示，大垄双行较传统小垄更能产生良好的群落构成，促进了植物之间的竞争关系，从而增加了籽粒灌浆成型速度。栽培方法与密度条件之间的相互互作达到了极显著水平，

表明在适当的栽培密度范围下，适当的栽培方法有助于提高植物群体结构，合理分配光资源。同时，最低密度条件的栽培方法表达较好，而最大密度条件栽培方法的透光性能处于较高水平，对提高籽粒的干重与灌浆速度具有重要影响。

### 1.3 研究的主要内容及技术路线

#### 1.3.1 研究目标

在不同播期下（根据时间错位原理，模拟未来气候光温资源变化），研究密度对玉米产量和生长发育的影响，明确不同播期和密度下春玉米产量的变化规律，揭示不同播期和密度对叶面积指数、玉米灌浆速率和干物质积累与分配规律的影响机理；为未来气候变化下玉米的稳产高产以及光温资源的高效利用提供理论依据。

#### 1.3.2 研究内容

##### （1）不同播期和密度对玉米产量的调控机制研究

研究不同播期和密度对玉米籽粒产量的影响，以及播期和密度共同作用下对玉米成熟期干物质的影响机制。

##### （2）不同播期和密度对玉米灌浆速率和百粒重的影响

研究不同播期和密度对玉米灌浆速率的影响，以及不同播期和密度对玉米百粒重变化规律的影响。

##### （3）不同播期和密度对玉米叶面积指数和 SPAD 值的影响。

研究不同播期和密度对玉米生育后期叶片衰老率的影响，以及不同播期和密度对玉米叶面积指数和叶片 SPAD 值的影响。

##### （4）不同播期和密度对玉米干物质积累分配的影响

通过对吐丝期和成熟期总干物质以及吐丝成熟期的干物质积累量的分析，研究不同播期、密度下玉米植株干物质的积累分配和转运特征。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/848014031017006046>