

许海涛,冯晓曦,许波,等.夏玉米干物质生产、形态特征及光合特性对行株距变化的响应[J].江苏农业科学,2022,50(6):53-59.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.008

夏玉米干物质生产、形态特征及光合特性 对行株距变化的响应

许海涛,冯晓曦,许波,张军刚,郭海斌,王成业

(驻马店市农业科学院/河南玉米产业技术体系驻马店综合试验站,河南驻马店 463000)

摘要:在相同密度 7.5×10^4 株/hm² 条件下,设置 5 个行株距处理:T1:行距 50 cm,株距 26.6 cm;T2:行距 55 cm,株距 24.2 cm;T3:行距 60 cm,株距 22.2 cm;T4:株距 65 cm,株距 20.5 cm;T5:行距 70 cm,株距 19.0 cm,研究夏玉米干物质生产、形态特征及光合特性对行株距变化的响应。结果表明,处理 T5 干物质最终积累量最高。处理 T2 株高、穗位高较低,有利于植株降低重心,提高抗倒伏能力。穗下层叶向值低于穗上层,处理 T1、T2 茎叶夹角较小,降低了叶片间的互相遮阴,受光条件得到改善。灌浆至乳熟期处理 T4 维持较高的叶面积指数,灌浆期后叶面积指数下降速率明显低于其他处理。处理 T3 叶绿素相对含量最高,一直持续至乳熟期,始终高于处理 T1、T5。灌浆期净光合速率表现为 T4 > T3 > T5 > T2 > T1 处理,但处理间差异未达显著水平。产量随着行距的增加株距的缩小呈现先增加后降低的趋势,处理 T3 产量最高,与处理 T1、T2、T4、T5 差异达显著水平,处理 T2、T4 差异不显著,但显著高于处理 T5,处理 T3 比处理 T1、T2、T4、T5 分别增加了 7.22%、3.96%、3.21%、9.99%。行株距的变化对穗长、穗粗、行粒数以及百粒质量的影响较小,而对穗行数、秃尖长有明显影响。行距 60cm,株距 22.2cm 配置有利于夏玉米产量的提高。

关键词:玉米;干物质生产;形态特征;叶面积指数;叶绿素相对含量;净光合速率

中图分类号: S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)06-0053-07

玉米是我国栽培面积较大的作物之一,对我国粮食增产的贡献率已达 58.1%^[1]。玉米产量持续增产需要构建适宜群体,通过群体合理的结构实现增产是玉米高效栽培的重要措施^[2],而适宜的群体结构需要一定密度条件下玉米行株距最优配置^[3]。行株距可改善群体间通透条件、植株营养条件,合理的行株距可以让植株得以充分发育,个体与群体间更协调均衡,有利于改善玉米田间微生态环境,使光、热、水、气资源利用效率增加^[4]。研究发现,高密度条件下改变行株距配置是完善玉米群体冠层结构、提升光热资源的利用效率、增加产量的重要途径,合理的行株距配置能够延缓叶片功能期,提高吐丝后玉米干物质积累量,促进玉米籽粒的灌浆^[5-6]。李新彦等研究认为,栽培密度不变条件下适当提高行株距,可以达到增产的目的,但株距过

小或行距过大均会显著降低玉米产量^[7]。王波等研究表明,行距 50 cm、株距 33.35 cm 配置方式玉米田间形成的光热水气微生态环境,最适宜紧凑型中矮秆玉米的生长和干物质的累积^[8]。姜兴芳等研究指出,窄行距种植玉米 0~60 cm 土壤内根长密度、根质量密度和根表面积密度均大于宽行距种植,同一密度条件下缩小行距增加株距,玉米单株的木质部伤流液体积提高,增强了根系的供应能力^[9]。相关研究结果表明,夏玉米行株距变化对干物质生产、形态特征及光合特性有影响,但受生态地域与环境差异的影响结果并不一致^[6,10-11]。目前河南南部半干旱区域有关夏玉米干物质生产、形态特征及光合特性对行株距变化的效应研究报道较少,本研究旨在通过相同密度条件下对夏玉米进行不同行株距种植,玉米生育期间形成光、热、水、气等不同的微生态环境,系统研究夏玉米干物质生产、形态特征及光合特性变化规律,以期明确河南省南部半干旱区域不同行株距种植条件下夏玉米干物质生产、形态特征及光合特性的响应特点,为寻求夏玉米高产群体最佳行株距配置,充分挖掘产量潜力提供理论依据和技术支撑。

收稿日期:2021-06-30

基金项目:河南省玉米产业技术体系驻马店综合试验站建设项目(编号:Z2019-02-04)。

作者简介:许海涛(1974—),男,河南上蔡人,副研究员,主要从事玉米遗传育种与栽培技术研究。E-mail: xuht0101@126.com。

通信作者:王成业,研究员,主要从事玉米遗传育种与栽培技术研究。E-mail: 13513865035@126.com。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

2019 年试验安排在河南省驻马店市农业科学试验站(114°05' E, 33°01' N, 海拔高度为 64 m), 试验区位于河南省南部半干旱区域, 阳光充足, 年内降水呈现时空分布不均, 极易受干旱胁迫。前茬作物为小麦, 供试土壤质地为黏壤, 土壤耕层(0 ~ 20 cm) pH 值为 6.8, 有机质含量为 13.06 g/kg、碱解氮含量为 97.52 mg/kg、速效磷含量为 18.79 mg/kg、速效钾含量为 81.45 mg/kg。地势较平整, 肥力较均匀。

1.2 试验材料

试验玉米品种驻玉 216, 为驻马店市农业科学院玉米研究所选育并提供。肥料为红四方牌玉米专用复合肥, 中盐安徽红四方肥业股份有限公司生产, 总养分含量 $\geq 45\%$, N、 P_2O_5 、 K_2O 含量分别为 28%、10%、7%。

1.3 试验设计

试验设置 5 个行株距处理, 分别为 T1: 行距 50 cm, 株距 26.6 cm; T2: 行距 55 cm, 株距 24.2 cm; T3: 行距 60 cm, 株距 22.2 cm; T4: 行距 65 cm, 株距 20.5 cm; T5: 行距 70 cm, 株距 19.0 cm。试验采用随机区组排列, 行长 8 m, 6 行区, T1、T2、T3、T4、T5 处理小区面积分别为 24.0、26.4、28.8、31.2、33.6 m², 重复 3 次, 按照行株距设置方案 2019 年 6 月 9 日人工开沟点播, 播深 4 ~ 5 cm, 每穴放 3 粒, 定苗后保留 1 株, 各小区留苗密度为 7.5 万株/hm², 重复之间走道为 1 m, 试验四周设置 4 行保护行。中耕前施玉米专用复合肥 750 kg/hm², 播种前人工浇水, 造足底墒确保一播全苗, 管理技术措施与本地大田生产保持一致。

1.4 调查项目与方法

1.4.1 单株干物质质量的测定 分别于夏玉米拔节期、抽雄期、灌浆期和乳熟期选取生长发育基本一致、叶片完整无病虫害危害且具有一定代表性的玉米植株, 每小区选取 5 株, 从茎基部截断后 105 °C 杀青 30 min, 放鼓风干燥箱内 85 °C 烘干到恒质量, 然后称取干物质质量。

1.4.2 形态特征的测定 灌浆期每小区选取有代表性的植株 10 株, 株高测量根茎部至雄穗顶端之间距离, 穗位高测量根茎部至最上果穗着生第一节处之间距离; 采用步蕴法^[12]测定叶片倾角, 于灌浆期

选取生长基本一致、叶片无破损无病斑、具有一定代表性的植株 5 株, 用直尺与量角器测定穗位叶以及其上部、下部叶片与茎的夹角, 叶片的长度与叶片下垂的距离, 叶向值(LOV) = (90° - 茎叶夹角) × 叶片下垂距离/叶片长。

1.4.3 叶面积指数(LAI)的测定 分别于夏玉米拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、乳熟期测定叶面积指数, 长宽系数法先测定叶面积^[13], 叶面积 = $L \times D \times 0.75$, L 为叶片的最大叶长, D 为叶片的最大叶宽, 叶面积指数(LAI) = 平均单株叶面积 × 单位土地面积内平均株数/单位土地面积。

1.4.4 叶绿素相对含量(SPAD 值)的测定 分别于夏玉米拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、乳熟期, 采用便携式 SPAD - 502PLUS 叶绿素仪于晴天 10:00—14:00, 均匀选 5 个点, 避开叶脉测定 SPAD 值, 重复 3 次求其平均值。

1.4.5 净光合速率(P_n)的测定 分别于夏玉米拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、乳熟期采用便携式 TPS - 2 光合作用测定仪于晴天 09:00—11:00 测定光合速率, 重复 3 次求其平均值。

1.4.6 产量性状的测定 成熟期每小区选取有代表性的果穗 5 穗, 室内测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数、秃尖长、百粒质量, 收获中间 2 行脱粒自然风干后测定产量。

1.5 数据处理

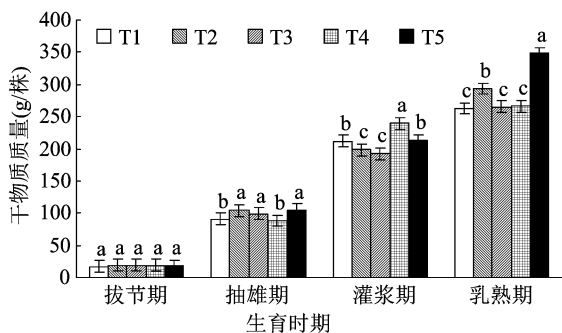
采用 Excel 2003 和 DPS 3.01 对数据进行分析和处理。

2 结果与分析

2.1 夏玉米干物质积累对行株距变化的响应

玉米植株生育过程也就是其同化产物逐渐累积的过程, 干物质累积量的高低直接影响到营养器官组织的发育及最终产量的形成^[4]。从图 1 可以看出, 随着生育进程的推进干物质累积量逐渐增加, 干物质累积量生育前期积累缓慢, 抽雄后随着营养生长向生殖生长快速转变, 干物质累积量也迅速增加, 灌浆后至乳熟其累积量增加趋缓。不同行株距处理对夏玉米不同生育时期干物质积累的影响不同, 拔节期不同行株距处间差异不显著, 抽雄后处理间差异达显著水平。乳熟期夏玉米干物质累积量处理 T5 最高, 其次是处理 T2, 与处理 T1、T3、T4 差异显著, 由此可见, 相同密度条件下处理 T5、T2 夏玉米干物质累积量较高, 为夏玉米高产提

供重要的物质保障。拔节期处理 T2、T3、T4 干物质积累量较高,处理 T1、T5 较低,各处理间差异均不显著。抽雄期处理 T2、T5 干物质积累量较高,处理 T1、T3、T4 相对有所降低;灌浆期至乳熟期不同处理间干物质积累速率差异较大,致使干物质最终积累量不同,处理 T5 > T2 > T4 > T3 > T1,处理 T5 干物质积累量最大,比处理 T1、T2、T3、T4 分别增加了 32.69%、18.71%、31.55%、30.88%。表明行株距的变化对夏玉米干物质积累量具有明显影响,处理 T5、T2 行株距配置方式夏玉米干物质积达到较高的水平,原因主要是行株距配置方式后劲充盈,在灌浆至乳熟期间干物质积累维持较高的积累速度,进一步证明处理 T5、T2 行株距模式条件下降低了植株个体之间对光热水气等资源的竞争,生育后期光合同化组织可保持更高的光合活力,延缓了植株的衰老,有益于更多干物质的积累,为增加玉米经济产量提供重要物质基础。



图中不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图2至图6同
图1 夏玉米干物质积累对行株距变化的响应

2.2 夏玉米形态特征对夏玉米行株距变化的响应

玉米植株高度在玉米形态特征中属于相对稳定的因子之一,主要由本身性状的表现决定的,但外部环境条件的影响表现较明显^[14]。从图2可以看出,行株距变化对夏玉米株高、穗位高均产生一定影响,株高、穗位高随着行距的变大、株距的缩小呈现先降低后升高,最终又降低趋势。株高变幅范围为 257.8 ~ 272.4 cm,表现为处理 T4 > T5 > T3 > T1 > T2,宽行距处理 T4、T5 与窄行距处理 T1、T2 间差异显著,处理 T4 株高最大,比处理 T1、T2、T3、T5 株高分别增加了 5.46%、5.66%、3.57%、1.76%。穗位高变幅范围为 95.6 ~ 108.2 cm,与株高变化趋势基本一致,表现为处理 T4 > T5 > T3 > T1 > T2,宽行距处理 T3、T4、T5 间差异不显著,但与处理 T2 差异显著,处理 T4 穗位高最大,比处理 T1、T2、T3、T5 分别增加了 10.97%、13.18%、2.75%、2.95%。处

理 T2 株高与穗位高最低,有利于夏玉米植株降低重心,提高抗倒伏性能。表明增大行距缩小株距对夏玉米植株重心高度平衡与稳定产生不利影响。

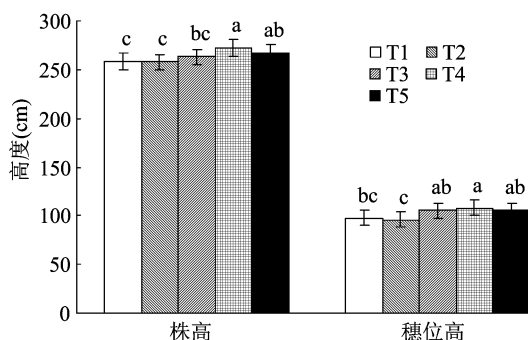


图2 夏玉米株高和穗位高对行株距变化的响应

叶向值(LOV)是玉米形态特征中的主要组成部分之一,是对玉米受光状态产生影响的关键指标,可评价玉米植株的紧凑程度^[10,13]。从图3可以看出,穗上层叶与穗下层叶倾角呈现规律不尽一致,穗上层叶 LOV 随着行距的增加株距的缩小呈现先升高后降低趋势,而穗下层 LOV 则呈现逐渐降低趋势,并且穗上层 LOV 始终大于穗下层,穗上层叶片生长较直立,穗下层 LOV 较小,叶片生长较为平展,均益于植株有效接收光能,不同处理间 LOV 均未达显著水平。处理 T5 条件下穗上层与穗下层 LOV 小于其他行株距处理,可能由于宽行距处理叶片生长发育较为平展,群体内植株个体间竞争较小,叶片在穗上、穗下不同冠层中拥有足够的伸展空间。处理 T1、T2 LOV 较大,穗上层叶型较大,主要受行距限制,生长发育较为直立,穗下层叶型较小,既受到行距限制又会受到株距限制,穗下层 LOV 低于穗上层。群体生长发育空间的变化可使叶片着生状态产生一定改变,以避免叶片间互相遮挡形成的遮阴,处理 T1、T2 行距处理茎叶夹角较小,株型相对紧凑,降低了叶片间的互相遮阴,受光条件得到改善,在一定范围内有益于提高玉米群体的耐密性。穗上层 LOV 处理 T2 最大,比处理 T1、T3、T4、T5 分别增加了 5.43%、7.49%、9.55%、10.54%,穗下层 LOV 处理 T1 最大,比处理 T2、T3、T4、T5 分别增加了 0.80%、5.12%、8.58%、12.04%。

2.3 夏玉米叶面积指数对行株距变化的响应

叶片是夏玉米重要的光合组织,群体叶面积的大小及发展动态决定最终产量的形成,叶面积指数(LAI)的高低可以评价群体的光合生产性能的大

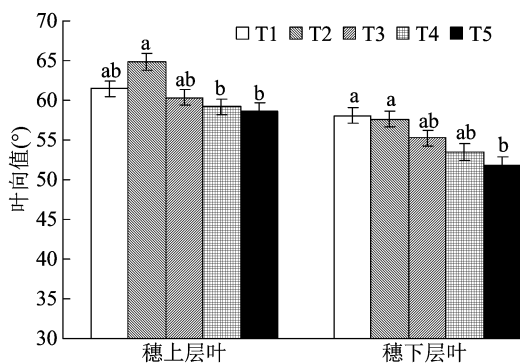


图3 夏玉米叶向值(LOV)对行株距变化的响应

小^[4]。从图4可以看出,不同行株距处理下 LAI 变化趋势基本相同,随生育进程持续推进,呈现出先升高后增加的抛物线型变化趋势,拔节期至大喇叭口期增速较快,抽雄期达最大值后缓慢降低,抽雄后至灌浆下降较缓,保持较高 LAI,灌浆后期至乳熟期迅速下降,随着行距的增加株距的缩小 LAI 灌浆前呈现先升高后降低的趋势,灌浆至乳熟期呈现先降低后升高再降低趋势。拔节期、抽雄期、乳熟期不同行株距处理间差异不显著,大喇叭口期处理 T2、T3 与处理 T1、T4、T5 间,灌浆期处理 T2 与处理 T1、T3、T4 间差异达显著水平。处理 T3 在拔节至抽雄期 LAI 均保持较高的水平,表明这一时期处理 T3 条件下夏玉米单株叶面积较大,延缓了植株叶片的衰老,叶片的功能期延长,灌浆期后处理 T4 条件下 LAI 下降速度明显低于其他处理,后期能够维持较高 LAI,维持更高的光合叶面积,有利于光合产物转移至籽粒中,利于充实灌浆。抽雄期处理 T3 条件下 LAI 最大,比处理 T1、T2、T4、T5 分别增加了 3.15%、1.24%、4.47%、5.82%;乳熟期处理 T4 条件下 LAI 最大,比处理 T1、T2、T3、T5 分别增加了 1.10%、17.95%、5.34%、11.29%。

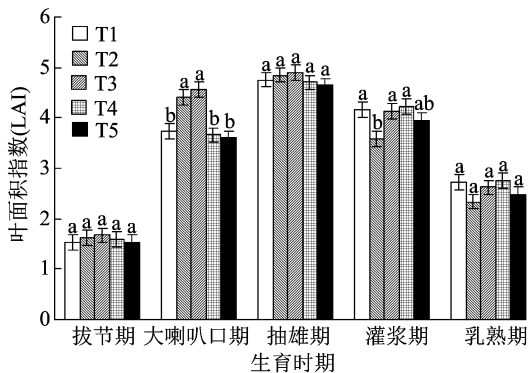


图4 夏玉米叶面积指数对行株距变化的响应

2.4 夏玉米叶绿素相对含量对行株距变化的响应

叶绿素是植物光合作用时对光能进行吸收的

重要光合色素,参与光能的收集和传输,其含量高可衡量植物光合性能的强弱,SPAD 值作为叶色值与叶绿素含量呈正相关性,可用来表示叶绿素相对含量^[15]。从图5可以看出,夏玉米叶片的叶绿素相对含量 (SPAD) 呈现生育期前期缓慢升高,灌浆期达到最大值后又迅速降低的趋势,抽雄前随着行距的增加株距的缩小 SPAD 呈现先升高后降低最后又升高的趋势,抽雄期后呈现先升高后降低的趋势。抽雄前不同行株距处理间 SPAD 差异均未达显著水平,灌浆期至乳熟期差异明显增加。拔节期处理 T2 SPAD 最高,比处理 T1、T3、T4、T5 分别增加了 6.55%、2.30%、4.52%、3.62%,大喇叭口期处理 T3 SPAD 最高,比处理 T1、T2、T4、T5 分别增加了 4.43%、2.94%、8.46%、5.20%。从抽雄期开始,随着行距的增加株距的缩小,SPAD 先升高后降低,处理 T3 条件下 SPAD 最高,一直持续至乳熟期,始终高于处理 T1、T5,抽雄期、灌浆期、乳熟期比处理 T1 分别增加了 2.21%、3.99%、11.06%,比处理 T5 分别增加了 1.59%、3.05%、13.13%,表明生育前期处理 T3 SPAD 上升比处理 T1、T5 快,而生育后期下降比处理 T1、T5 慢,维持较高的 SPAD,保持叶片较高的光合活性,延缓了夏玉米叶片的衰老,有益于整个生育期内光合速率的提高,有利于最终产量的形成。

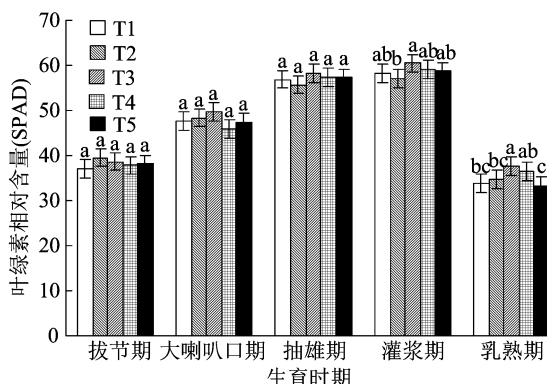


图5 夏玉米叶绿素相对含量对行株距变化的响应

2.5 夏玉米净光合速率对行株距变化的响应

玉米叶片的光合作用是其生长发育与产量形成的重要基础,95% 干物质来源于光合作用形成有机物质,而光合效率的大小显著影响到最终产量的高低,与作物产量呈正相关性^[11,16]。从图6可以看出,不同行株距处理净光合速率 (P_n) 变化趋势基本相同,随着生育进程的推进呈现出先升高后降低的抛物线型变化趋势,拔节期至大喇叭口期 P_n 缓慢增加,大喇叭口期至抽雄期快速增加,抽雄期达最大

值后又缓慢下降直至乳熟期,随着行距的增加株距的缩小 P_n 拔节期至大喇叭口期呈现增加趋势,抽雄期至灌浆期呈现先升高后降低趋势,乳熟期时呈现出窄行距、宽行距处理 P_n 均大于中间行距处理,不同生育期内各处理对 P_n 影响不同。拔节期 P_n 处理 T5 最高,与处理 T2、T3、T4 间无显著差异,处理 T1 最低;大喇叭口期 P_n 处理 T5 显著高于处理 T1、T2、T3、T4,分别提高了 52.02%、49.01%、58.41%、35.97%;抽雄期至灌浆期 P_n 处理 T3、T4 快速增加,抽雄期表现为处理 T3 > T2 > T5 > T1 > T4,处理 T3 比处理 T1、T2、T4、T5 分别增加了 8.41%、4.20%、9.37%、5.57%,灌浆期表现为处理 T4 > T3 > T5 > T2 > T1,处理 T4 比处理 T1、T2、T3、T5 分别增加了 21.20%、7.49%、0.88%、1.70%;乳熟期 P_n 处理 T5 显著高于处理 T2、T3、T4,处理 T2、T3、T4 基本处理同一水平。从整个生育期来看,对产量形成重要的抽雄期至灌浆期,处理 T3、T4 条件下 P_n 高于其他行株距处理,表明 2 种处理下夏玉米叶片的光合活性比较高,延缓了光合功能期,确保生育后期籽粒灌浆期间物质与能量的足够供给,有益于玉米产量的提高。

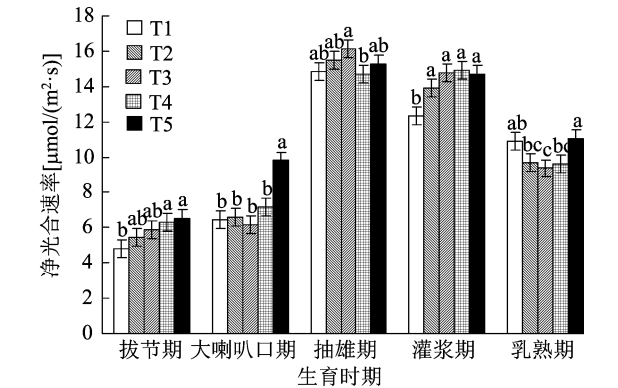


图6 夏玉米净光合速率(P_n)对行株距变化的响应

2.6 夏玉米产量及其性状对行株距变化的响应

从图 7 可以看出,在行距 50 ~ 70 cm、株距 19.1 ~ 26.6 cm 变化幅度范围内,夏玉米产量随着行距的增加株距的缩小呈现先增加后降低的趋势,经产量与行株距处理回归模拟而表现出二次抛物线曲线关系,相关程度高, $r^2 = 0.9297$,其回归曲线方程为 $y = -164.45x^2 + 949.45x + 7856.5$ 。处理 T3 产量最高,与处理 T1、T2、T4、T5 间差异达显著水平,处理 T2、T4 差异不显著,但显著高于处理 T5。不同行株距处理产量表现为处理 T3 > T4 > T2 > T1 > T5,处理 T3 产量比处理 T1、T2、T4、T5 分别增

加了 7.22%、3.96%、3.21%、9.99%,表明行株距不同处理能够平衡产量要素之间的协同关系,也是提高产量较有效的途径,行距 60 cm、株距 22.2 cm 配置方式更有益于夏玉米个体生产能力的提高,相对其他行株距处理更能使夏玉米产量群体优势得以表达,行距过大或过小均不利于夏玉米产量的形成。

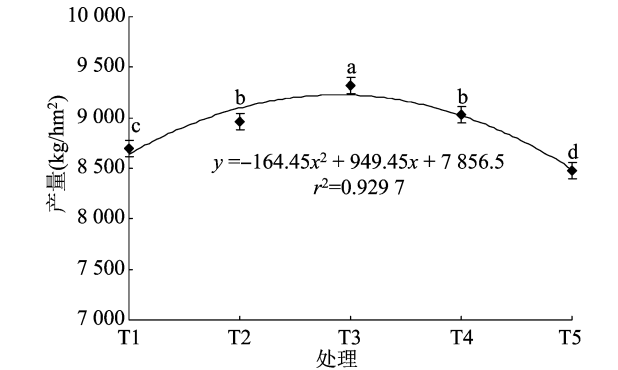


图7 夏玉米产量对行株距变化的响应

从表 1 可以看出,行株距的变化对穗长、穗粗、行粒数以及百粒质量的影响差异不显著,而对穗行数、秃尖长的影响有一定差异。穗长处理 T3 最长,与处理 T4、T5 相差不大,但远大于处理 T1、T2;穗粗处理间相差较小;穗行数处理 T3 最多,但与处理 T1、T2、T4、T5 相差不大;行粒数处理 T1、T3、T4 相近,但大于处理 T2、T5;秃尖长处理 T3 最长,处理 T5 最短,二者差异达显著水平,宽行距窄株距有利于玉米籽粒的形成;百粒质量表现为处理 T1 > T2 > T4 > T3 > T5,处理 T1 比处理 T2、T3、T4、T5 分别增加了 0.65%、5.07%、2.64%、6.87%。从整体情况来看,处理 T3 穗长、穗粗最高,穗行数、行粒数较多,但秃尖较长,百粒质量有所降低,但单穗粒质量最高,这也是最终产量较高的直接原因。

表 1 夏玉米产量性状对行株距变化的响应

处理	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	穗行数 (行/穗)	行粒数 (粒/行)	秃尖长 (cm)	百粒质量 (g)
T1	16.7a	4.5a	14.0b	32.4a	0.7ab	31.1a
T2	16.9a	4.6a	14.4ab	31.5a	0.8ab	30.9a
T3	17.5a	4.7a	15.2a	32.6a	0.9a	29.6a
T4	17.3a	4.4a	14.8ab	32.2a	0.6ab	30.3a
T5	17.0a	4.6a	14.4ab	31.8a	0.3b	29.1a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

3.1 夏玉米干物质积累对行株距变化的响应

干物质积累量是玉米籽粒产量形成的重要物

质基础,相关研究证实,干物质积累量越高籽粒产量也高,产量与干物质积累量呈显著正相关性^[17]。路明等研究表明,高产及超高产玉米品种的干物质积累量生育早期虽无明显的差异,但拔节之后群体干物质累积速率及其最终积累量显著大于普通玉米品种,呈现更强的干物质生产性能^[18]。本研究结果表明,拔节期处理 T2、T3、T4 干物质积累量较高,但处理间差异均不显著;抽雄期处理 T2、T5 干物质积累量较高,处理 T1、T3、T4 相对有所降低;灌浆期至乳熟期不同处理间干物质积累速率差异较大,致使干物质最终积累量不同,处理 T5、T2 干物质积累总量较大,这与张海军研究结果^[4]一致,原因主要是此行株距配置方式使干物质积累后劲充盈,在灌浆至乳熟期间干物质积累能够维持较高的积累速度,进一步证明处理 T5、T2 行株距模式条件下降低了植株个体之间对光热水气等资源的竞争,生育后期光合同化组织可保持更高的光合活力,延缓了植株的衰老,有益于更多干物质的积累。

3.2 夏玉米形态特征对夏玉米行株距变化的响应

相关研究表明,行株距适宜的配置模式可促进玉米植株的健壮生长,随着生长空间的缩小,个体间对资源的竞争加大,植株形态因争夺有限资源将发生一定变化^[10]。本研究结果表明,株高、穗位高随着行距的变大株距的缩小呈现先降低后升高,最终又降低趋势,宽行距处理 T4、T5 与窄行距处理 T1、T2 间差异达显著水平,处理 T4 株高最大,穗位高宽行距处理 T3、T4、T5 间差异不显著,但与处理 T2 差异显著,处理 T4 穗位高最大,说明处理 T2 行距 55 cm,株距 24.2 cm,株高与穗位高最低有利于夏玉米植株降低重心,提高抗倒伏性能,增大行距缩小株距对夏玉米植株重心高度平衡与稳定产生不利影响,这与步温法的研究结果^[12]相吻合,但与张海红研究结论^[10]不尽一致,这可能与所处生态环境、品种特性及管理措施不同而异。

叶向值也是评价玉米植株株型的主要指标,路明等研究指出,茎叶夹角越大,而叶向值越小,叶片更接近于水平,相反叶向值越小而叶片的直立性就越好^[18]。本研究结果表明,穗上层叶叶向值(LOV)随着行距的增加株距的缩小呈现先升高后降低趋势,而穗下层 LOV 则呈现逐渐降低趋势,并且穗上层 LOV 始终大于穗下层,穗上层叶片生长较直立,穗下层 LOV 较小,叶片生长较为平展,均益于植株有效接收光能,不同处理间 LOV 均未达显著水平。

处理 T5 条件下穗上层与穗下层 LOV 小于其他行株距处理,可能由于宽行距处理叶片生长发育较为平展,群体内植株个体间竞争较小,叶片在穗上、穗下不同冠层中拥有足够的伸展空间。处理 T1、T2 LOV 较大,穗上层叶型较大主要受行距限制,生长发育较为直立,穗下层叶型较小,既受到行距限制又会受到株距限制,穗下层 LOV 低于穗上层,与张海红在河南南阳试验结果^[10]基本一致,这可能与本试验属同一生态区有关,进一步验证了本试验结论的可靠性。

3.3 夏玉米叶面积指数对行株距变化的响应

叶面积指数(LAI)是评价玉米长势和生长发育状态的主要参数,行株距种植不同致使玉米群体的冠层结构也不同,相关研究指明,不同基因型玉米品种均应有相对的种植行株距,以期植株获得合理的冠层结构^[19]。本试验结果表明,随着行距的增加株距的缩小 LAI 灌浆前呈现先升高后降低的趋势,灌浆至乳熟期呈现先降低后升高再降低趋势,拔节期、抽雄期、乳熟期不同行株距处理间差异不显著,处理 T3 在拔节期至抽雄期 LAI 均保持较高的水平,灌浆期后处理 T4 条件下 LAI 下降速度明显低于其他处理,后期能够维持较高 LAI,乳熟期处理 T4 条件下 LAI 最大,可维持更高的光合叶面积,有利于光合产物转移至籽粒中,利于充实灌浆。这与张海军研究结果^[4]不尽一致,与高亚男研究结果^[11]近似,这可能与玉米品种生长势差异有关,玉米生长发育在一定程度上具有自我调节的能力,植株间激烈竞争资源的条件下,群体结构的变化可使植株的形态结构也产生相应的变化^[20-21]。

3.4 夏玉米叶绿素相对含量对行株距变化的响应

叶绿素相对含量(SPAD)的高低是衡量玉米叶片光合性能的主要指标,本研究结果表明,抽雄前随着行距的增加株距的缩小 SPAD 呈现先升高后降低最后又升高的趋势,抽雄期后呈现先升高后降低的趋势。抽雄前不同行株距处理间 SPAD 差异均未达显著水平,灌浆期至乳熟期差异明显增加。生育前期处理 T3 SPAD 上升比处理 T1、T5 快,而生育后期下降比处理 T1、T5 慢,维持较高的 SPAD,保持叶片较高的光合活性,延缓了夏玉米叶片的衰老,有益于整个生育期内光合速率的提高,有利于最终产量的形成,这与步温法行距 60 cm 处理下叶绿素含量最高的研究结论^[12]一致。

3.5 夏玉米净光合速率对行株距变化的响应

群体的光合作用受玉米叶片光合速率(P_n)的

决定性影响,众多研究显示, P_n 与玉米产量间呈正相关性,籽粒产量的高低和穗位叶生育后期的 P_n 紧密相关^[22]。本研究中随着行距的增加株距的缩小 P_n 拔节期至大喇叭口期呈现增加趋势,抽雄期至灌浆期呈现先升高后降低趋势,乳熟期时呈现出窄行距、宽行距处理 P_n 均大于中间行距处理,不同生育期内各处理对 P_n 影响不同,但差异未达显著水平。乳熟期 P_n 处理 T5 显著高于处理 T2、T3、T4,呈现出显著优势,表明夏玉米叶片的光合活性比较高,延缓了光合功能期,确保生育后期籽粒灌浆期间物质与能量的足够供给,有益于玉米产量的提高。

3.6 夏玉米产量及其性状对行株距变化的响应

前人有关行株距对玉米产量研究较多,受生态地域和品种特性的影响,结论不尽一致。本试验结果表明,夏玉米产量随着行距的增加株距的缩小呈现先增加后降低的趋势,处理 T3 产量最高,与处理 T1、T2、T4、T5 间差异达显著水平,处理 T2、T4 差异不显著,但显著高于处理 T5,说明行株距不同处理能够平衡产量要素之间的协同关系,也是提高产量较有效的途径,行距 60 cm、株距 22.2 cm 配置方式更有益于夏玉米个体生产能力的提高,相对其他行株距处理更能使夏玉米产量群体优势得以表达,行距过大或过小均不利于夏玉米产量的形成。本试验与张海红结论^[10]一致,但与张海军研究结果^[4]存在一定差异。

行株距的变化对穗长、穗粗、行粒数以及百粒质量的影响差异不显著,而对穗行数、秃尖长的影响有一定差异。穗长处理 T3 最长,与处理 T4、T5 相差不大,但远大于处理 T1、T2;穗粗处理间相差较小;穗行数处理 T3 最多,但与处理 T1、T2、T4、T5 相差不大;行粒数处理 T1、T3、T4 相近,但大于处理 T2、T5;秃尖长处理 T3 最长,处理 T5 最短,二者差异达显著水平,宽行距窄株距有利于玉米籽粒的形成。从整体情况来看,处理 T3 穗长、穗粗最高,穗行数、行粒数较多,但秃尖较长,百粒质量有所降低,但单穗粒质量最高,这也是最终产量较高的直接原因,产量比处理 T1、T2、T4、T5 分别增加了 7.22%、3.96%、3.21%、9.99%,行距过小及过大均显著降低玉米籽粒产量。

参考文献:

[1] 任仰涛,金彦刚,李珍富,等. 种植密度对玉米瑞华 968 产量及生理特性的影响[J]. 安徽农学通报,2017,23(7):43-44,65.

- [2] 陈传永,侯玉虹,孙 锐,等. 密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析[J]. 作物学报,2010,36(7):1153-1160.
- [3] 王向阳,孟战赢,王育红,等. 豫西地区株行距配置对夏玉米产量及灌浆特性的影响[J]. 玉米科学,2013,21(4):94-100.
- [4] 张海军. 不同行株距配置对夏玉米生长发育及产量影响的研究[J]. 农业科技通讯,2018(3):76-79.
- [5] 陈宗培,薛佳欣,李 奔,等. 玉米光合特性和冠层微环境对密度和行株距配置的响应[J]. 作物杂志,2020(1):179-186.
- [6] 魏珊珊,王祥宇,董树亭. 株行距配置对高产夏玉米冠层结构及籽粒灌浆特性的影响[J]. 应用生态学报,2014,25(2):441-450.
- [7] 李新彦,李有明,马现斌,等. 不同株行距配置对玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):87-88.
- [8] 王 波,余海兵,支银娟. 玉米不同种植模式对田间小气候和产量的影响[J]. 核农学报,2012,26(3):623-627.
- [9] 姜兴芳,陶洪斌,郑志芳,等. 株行距配置对玉米根系性状及产量的影响[J]. 玉米科学,2013,21(2):116-121.
- [10] 张海红. 行距配置对黄淮南部夏玉米群体资源利用效率的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2015.
- [11] 高亚男. 行距对玉米生理特性及产量的影响[D]. 长春:吉林大学,2011.
- [12] 步蕴法. 种植行距对玉米群体指标和产量的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [13] 许海涛,许 波,王友华,等. 棒三叶对夏玉米光合生理特性、籽粒发育和产量性状的影响[J]. 陕西农业科学,2018,64(7):6-10.
- [14] 王友华,许 波,许海涛. 生物炭对夏玉米形态指标、生理特性和产量性状的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2017,45(5):1-7.
- [15] 张银杰,王 磊,白由路,等. 玉米不同层位叶片生理生化指标与 SPAD 值的关系[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(10):1805-1817.
- [16] 东先旺,刘树堂. 夏玉米超高产群体光合特性的研究[J]. 华北农学报,1999,14(2):36-41.
- [17] 石 磊,吕 宁,陈 云,等. 不同灌溉措施下春玉米干物质和养分积累分配特征及其与产量建成的相关性[J]. 玉米科学,2021,29(2):103-108,116.
- [18] 路 明,周 芳,谢传晓,等. 玉米杂交种掖单 13 号的 SSR 连锁图谱构建与叶夹角和叶向值的 QTL 定位与分析[J]. 遗传,2007,29(9):1131-1138.
- [19] Daynard T B, Muldoon J F. Plant-to-plant variability of maize plants grown at different densities[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1983, 63(1):45-59.
- [20] 范秀玲,李凤海,史振声,等. 玉米偏垄宽窄行种植方式的增产作用和生理特性研究[J]. 玉米科学,2010,18(1):108-111.
- [21] 汪 波,魏亚凤,李 波,等. 种植密度对鲜食糯玉米生长发育及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):91-95.
- [22] 李潮海,栾丽敏,王 群,等. 苗期遮光及光照转换对不同玉米杂交种光合效率的影响[J]. 作物学报,2005,31(3):381-385.