

宽窄行配置一穴多株种植对膜下滴灌 玉米产量和群体质量的影响

连彩云¹, 马忠明^{2*}

(1.甘肃省农业科学院 土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070;

2.甘肃省农业科学院, 兰州 730070)

摘要:【目的】在保持种植密度和行距一定的条件下, 选择适宜机械化运行的宽行距, 研究1穴多株种植对膜下滴灌春玉米产量和群体质量的影响, 进而实现增产、提高水肥利用效率和实现农业整体机械化的目标。【方法】试验在同一种植密度(9 900株/hm²), 等行距(30 cm)、等株距(30 cm)条件下, 设置3种植株规格: 1株/穴(H1, 宽行37 cm)、2株/穴(H2, 宽行104 cm)、3株/穴(H3, 宽行172 cm)。【结果】不同种植株数下春玉米叶面积和叶面积指数(LAI)在大喇叭口期后差异显著, 且H2处理叶面积显著大于H1、H3处理, 分别高13.8%、7.6%; 吐丝期以后H2处理干物质积累量显著高于H1和H3处理; 吐丝期至成熟期H2处理的光合势、相对生长率显著高于H1、H3处理, 光合势分别高4.60%~12.74%、8.97%~9.79%, 相对生长率分别高21.15%、103.06%; H2处理的产量较H1、H3处理平均增产21.6%、24.6%, 水分利用效率(WUE)分别提高25.0%、33.5%。【结论】春玉米膜下滴灌宽窄行配置1穴2株种植可以提高春玉米叶面积指数, 延缓后期叶面积的衰老, 增加光合势, 有助于后期干物质的积累, 提高粒重, 最终提高玉米籽粒产量。与常规种植相比, 玉米膜下滴灌采用1穴2株种植规格, 产量提高约21.6%, WUE提高约25%。

关键词: 膜下滴灌; 一穴多株; 春玉米; 产量; 群体质量

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019111

连彩云, 马忠明. 宽窄行配置一穴多株种植对膜下滴灌玉米产量和群体质量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(2):37-45.

LIAN Caiyun, MA Zhongming. Effects of more plants per hole on yield and population quality of spring maize with wide-narrow allocation under drip irrigation [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(2): 37-45.

0 引言

河西走廊是甘肃省的主要商品粮生产基地, 种植业以小麦、玉米为主, 自然生态类型、农业灌溉方式和社会经济发展状况在该区具有很强的代表性。随着种植结构的调整, 玉米已成为河西走廊第一大粮食作物, 也是种植面积最广泛的粮饲兼用作物, 在保障全省粮食安全、增加农民收入等方面发挥了重要作用^[1]。河西走廊属于没有灌溉就没有农业的典型干旱内陆灌区, 农民传统灌溉习惯是“有水就浇、大水漫灌、泡田浸透、灌安冬水”, 造成了水分的深层渗漏和无效蒸发, 灌溉水浪费超过50%, 平均农田水分损失达

到2 250 m³/hm²^[2]。膜下滴灌是滴灌和地膜覆盖种植的高效结合技术, 可有效减少深层渗漏损失和田间无效水分蒸发, 和传统地面灌溉相比节水70%~80%^[3]。另一方面在节水灌溉条件下, 提高作物产量依靠增加种植密度来实现^[4-5], 但密度过高会影响作物对光的利用, 从而影响作物产量的提高^[6-8]。因此, 为了提高作物的产量, 前人对不同的株行距的配置做了大量研究工作^[9-11]。也对玉米的双株栽培和一穴多株栽培等种植方式进行了研究^[12-13]。本研究以提高水肥利用效率和作物产量为目标, 改变传统种植模式, 通过采用玉米膜下滴灌“一穴多株”种植规格, 在一定的密度下选择科学合理的宽行距和每穴的种植株数, 以利于将机械化设备应用到田间操作中, 减少农民的工作强度, 进而实现水肥一体、作物增产、提高水肥利用效率和实现农业整体机械化的目标, 为河西走廊玉米高效安全利用水肥和整体机械化提供技术支撑。

收稿日期: 2019-07-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400207); 农业部公益性行业(农业)科专项(201503125)

作者简介: 连彩云(1977-), 女。副研究员, 主要研究作物节水高产栽培理论与技术的研究。E-mail: liancy1998@sina.com

通信作者: 马忠明(1963-), 男。研究员, 主要研究农业节水高产栽培理论与技术的研究。E-mail: mazhming@163.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2016—2017 年在甘肃省农业科学院张掖节水试验站 (100°26'E, 38°56'N) 进行。试验区海拔 1 570 m, 地下水位在地表 100 m 以下, 年降水量 129 mm, 蒸发量 2 048 mm, 年平均日照时间 3 085 h, 干旱指数达 10.3, 年均气温 7 °C, (≥ 0 °C 积温 3 388 °C, ≥ 10 °C 积温 2 600~3 300 °C), 光热资源丰富, 水

资源不足和利用率不高是制约农村经济发展的主要因素。试验区土壤质地为壤土, 0~160 cm 土层平均体积质量为 1.43 g/cm³。其气候特征和农作制度具有典型的西北绿洲灌溉农业区的特征。试验区土壤速效氮量为 128.8 mg/kg, 速效磷量为 19.3 mg/kg, 速效钾量为 148.0 mg/kg, 有机质量为 18.1 g/kg, pH 值为 8.6。2016—2017 年 2 a 平均气温和平均降雨量的变化过程见图 1。

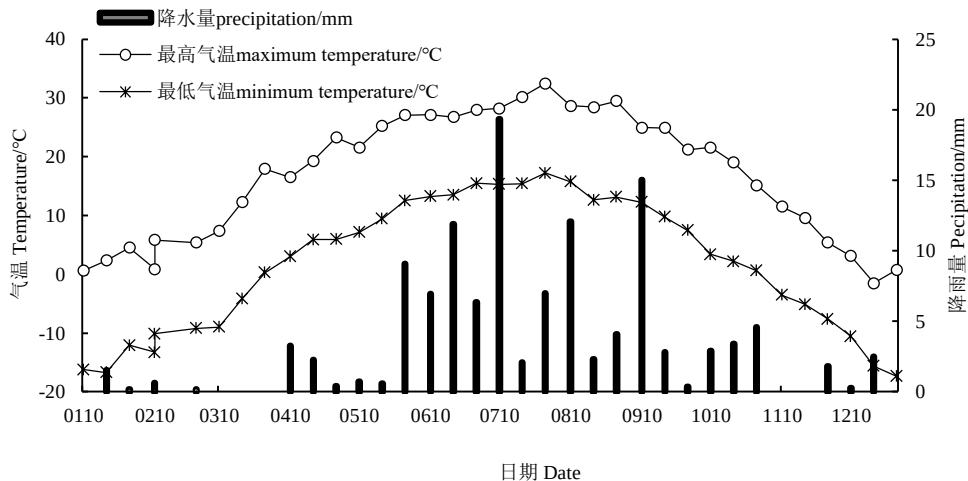


图 1 试验区 2016 年和 2017 年 2a 平均气温与平均降雨量

Fig.1 The average temperature and precipitation during the maize growing season in 2016 and 2017

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计, 在同一种植密度 (9 900 株/hm²), 等行距 (30 cm)、等株距 (30 cm) 下, 共设 3 个处理 (图 2), 分别为 H1 (传统种植): 1 株/穴 (宽行 37 cm)、H2: 2 株/穴 (宽行 104 cm)、H3: 3 株/穴 (宽行 172 cm)。每个处理重复 3 次, H1 处理小区面积 100.5 m² (30 m×3.35 m), H2 处理小区面积 156 m² (30 m×5.20 m), H3 处理小区面积 258 m² (30 m×8.6 m)。种植模式: 玉米宽窄行覆膜种植, 行距 30 cm, 株距 30 cm (与滴灌带滴头间距一致), 播种深度 4 cm。2 a 的供试品种均为“先玉 335”。2016 年于 4 月 18 日播种, 9 月 28 日收获; 2017 年于 4 月 23 日播种, 10 月 2 日收获。

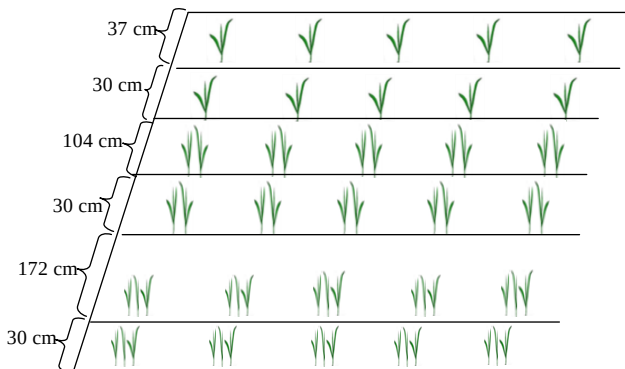


图 2 一穴多株田间布置模式示意图

Fig.2 Diagram of field layout under more plants per hole

灌溉与施肥: 全生育期灌溉定额为 3 600 m³/hm², 每个小区都有水表控制水量。于玉米拔节期灌溉头水, 全生育期灌溉 8 次, 收获前 20 d 停水。灌水量分别为灌溉定额的 10%、10%、15%、15%、15%、15%、10%、10%。

水肥同步: 各处理施肥方式、时间及氮、磷肥施用量均相同, 施纯氮 (N): 225 kg/hm², 施磷肥 (P₂O₅): 120 kg/hm²。氮肥用尿素 (含 N 量 46%), 磷肥用磷酸脲 (含 P₂O₅ 量 44%)。氮肥的 30%、磷酸脲的 40% 作基肥, 播种时一次施入。每小区进口处配备施肥比例泵, 追肥通过比例泵分 3 次随水滴施。拔节期施 N30%、施磷酸脲 60%, 大喇叭口期施 N30%, 吐丝期施 N10%。

滴灌带的铺设: 滴灌小区中每 2 行玉米之间铺设 1 条滴灌带, 滴灌带敷设于膜下正中, 滴头间距 30 cm, 流量 2 L/h。

1.3 测定项目与方法

土壤水分。在春玉米播种前、拔节期、大喇叭口期、灌浆中期、成熟期用传统土钻取土, 通过烘箱烘干法测定土壤质量含水率。测定部位: 横向测量间距 10 cm; 膜内测 1 个点, 膜外测 1 个点, 根区测 1 点, 测定层次为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。

干物质及叶面积。分别于拔节期、大喇叭口期、

灌浆期、成熟期,选取有代表性的植株 5 株,分别测定每一叶片的叶长、叶宽。叶面积测定之后,将鲜植株称质量然后立即放入烘箱,以 105 ℃ 高温杀青 30 min,再将温度调至 80 ℃ 烘干至恒质量。

植株样品采集与测试。玉米收获后,每区选取具有代表性的植株 5 株,分别采集籽粒和秸秆样品放入烘箱,以 105 ℃ 高温杀青 30 min,再将温度调至 80 ℃ 烘干至恒质量,粉碎后用于测试全氮量。植株全氮量采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后,用蒸馏法测定。

考种测产。玉米成熟后进行考种:每小区选取长势一致的植株样 10 株,进行玉米的考种测产。测定的主要指标有:穗长、穗粗、单穗行数、单行粒数、籽粒干质量、千粒质量及生物产量。计产:玉米成熟后,去除边行收获中间行,各区单独脱粒计产。以上指标按上述方法计算。

叶面积 (cm^2) = 叶长 (cm) $\times$ 叶宽 (cm) $\times 0.75^{[14]}$;

叶面积指数 = (单株叶面积 (cm^2) $\times$ 每个小区的植株数) / 小区面积 (m^2);

光合势 ($\text{m}^2/(\text{hm}^2 \text{ d})$) = (某阶段起始叶面积 ($\text{cm}^2/\text{hm}^2 \times 10\ 000$) + 该阶段结束叶面积 ($\text{cm}^2/\text{hm}^2 \times 10\ 000$)) $\times$ 间隔天数 $/2^{[15]}$;

相对生长率 ($\text{g}/(\text{g d})$) = $(\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$;

作物生长速率 ($\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$) = $(W_2 - W_1) / A \times (t_2 - t_1)$;

水分利用效率 ($\text{kg}/(\text{hm}^2 \text{ mm})$) = 作物产量 (kg/hm^2) / 作物耗水量 (mm);

氮收获指数 (%) = 玉米籽粒吸收氮量 / 植株地上部总吸氮量 $\times 100\%$,

式中: t_1 、 t_2 为某测定时期 (d); W_1 、 W_2 为 t_1 、 t_2 时

的干物质量 (g); A 为取样面积 (m^2)。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 软件对数据进行分析。采用单因素 (one-way ANOVA) 和 Duncan 法进行方差分析和多重比较 ($\alpha=0.05$), 利用 Excel 2007 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同株数对春玉米叶面积及叶面积指数的影响

通过 2016—2017 年的测定可知 (表 1), 在相同种植密度下采用 1 穴 2 株 (H2) 和 1 穴 3 株 (H3) 种植规格可以增加玉米后期绿叶的面积。2016 年, 拔节期 1 穴 1 株 (H1) 的叶面积较其他 2 处理 (H2、H3) 大; 大喇叭口期 1 穴 2 株 (H2) 处理显著 ($P<0.05$) 高于 1 穴 1 株 (H1) 和 1 穴 3 株 (H3) 种植规格, 且 H1 处理和 H3 处理之间差异不显著 ($P>0.05$); 吐丝期叶面积呈先增大而后降低的趋势, 即随着每穴种植株数的增加叶面积先增加而后减小, 且处理间差异表现为不显著 ($P>0.05$); 吐丝期后各处理之间差异达显著水平 ($P<0.05$), 呈现出 H2 处理 $>$ H3 处理 $>$ H1 处理的趋势。2017 年, 拔节期各处理间差异不显著 ($P>0.05$), 大喇叭口期后, 各处理间差异显著 ($P<0.05$), 总体表现为 1 穴 2 株处理叶面积显著 ($P<0.05$) 大于其他 2 处理。可见, 1 穴 2 株种植由于种植规格的变化, 使宽行增宽, 增加了田间的通风透光, 对大喇叭口期到灌浆期的叶面积有增加效应, 延缓了后期叶面积的下降, 有助于后期籽粒灌浆。

表 1 膜下滴灌春玉米叶面积

Table 1 Effects of plant number per hole on leaf area of spring maize under drip irrigation cm^2						
年份 Years	处理 Treatments	生育时期 Growth period				
		拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Flare opening stage	吐丝期 Silking stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
2016	H1	691.45 $\pm$ 68.27a	4 679.84 $\pm$ 152.42b	5 832.73 $\pm$ 148.28a	5 469.56 $\pm$ 270.79b	3 444.62 $\pm$ 174.30c
	H2	639.56 $\pm$ 44.24a	5 183.67 $\pm$ 189.33a	6 032.64 $\pm$ 477.01a	6 220.35 $\pm$ 263.05a	3 919.38 $\pm$ 102.41a
	H3	611.88 $\pm$ 43.66a	4 960.35 $\pm$ 197.09ab	5 404.08 $\pm$ 299.85a	6 072.05 $\pm$ 434.91ab	3 707.26 $\pm$ 103.44b
2017	H1	653.72 $\pm$ 54.42a	4 819.86 $\pm$ 155.68b	6 961.70 $\pm$ 399.78a	6 284.62 $\pm$ 189.65b	3 597.74 $\pm$ 114.58b
	H2	679.25 $\pm$ 65.32a	5 389.98 $\pm$ 146.54a	6 992.83 $\pm$ 412.57a	6 940.23 $\pm$ 204.38a	3 978.42 $\pm$ 114.25a
	H3	681.18 $\pm$ 42.55a	5 104.09 $\pm$ 187.45ab	6 303.19 $\pm$ 248.21b	6 239.31 $\pm$ 253.87b	3 718.14 $\pm$ 110.78ab
显著性 Significance		ns	ns	*	ns	ns

注 表中数据为平均值 $\pm$ 标准差。同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), “*”表示 $P<0.05$ 水平差异显著, ns 表示不显著。下同。

Notes The data in the table are mean $\pm$ standard deviation. Different letters in the same column meat significant difference at 0.05 level. “*”denote significant difference at 0.05 level, ns means no significant difference. The same below.

2016 年和 2017 年各处理的叶面积指数变化相似, 均从拔节期至灌浆期呈逐渐增加的趋势, 灌浆期后急剧下降 (图 3)。而年际间由于光照时间等气象条件不同而造成作物叶面积有一定的差异, 从而使叶面积

指数存在差异。拔节期至大喇叭口期, H1、H2、H3 处理的叶面积指数差异不显著 ($P>0.05$), 大喇叭口期后至灌浆期, H2、H3 处理叶面积指数持续增加, 而 H1 处理在吐丝期以后开始下降, 灌浆期 H2 处理

的叶面积指数最大, H1 处理的叶面积指数最小; 在成熟期, H2、H3 处理的叶面积指数较 H1 处理分别高 13.8%、7.6%。由此进一步说明, 1 穴 2 株种植可延缓后期叶面积下降, 和 H1 处理相比较, 为后期的物质积累和籽粒灌浆保证了足够的光合叶面积。

2.2 不同株数对春玉米干物质积累量的影响

春玉米单株干物质积累量随每穴的种植株数不

同而不同。2016—2017 年的变化趋势相同。吐丝前各处理干物质积累量保持一致, 吐丝期后各处理差异显著 ($P<0.05$), H2 处理显著高于 H1 和 H3 处理, H1 处理与 H3 处理之间差异不显著 ($P>0.05$)。可见, 1 穴 2 株种植可以显著增加膜下滴灌春玉米各生育时期干物质积累量, 并且随 1 穴内种植株数的增多, 干物质质量的增加效应减弱。

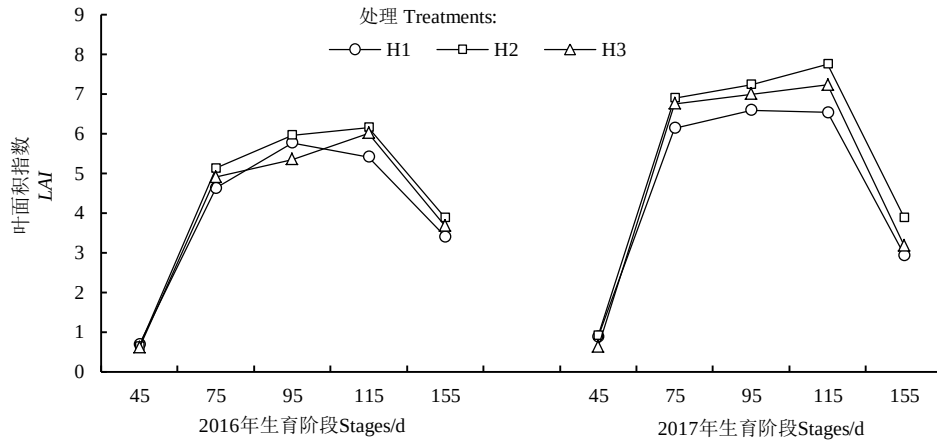


图 3 不同种植株数对春玉米 LAI 的影响

Fig.3 Effects of plant number per hole on LAI of spring maize

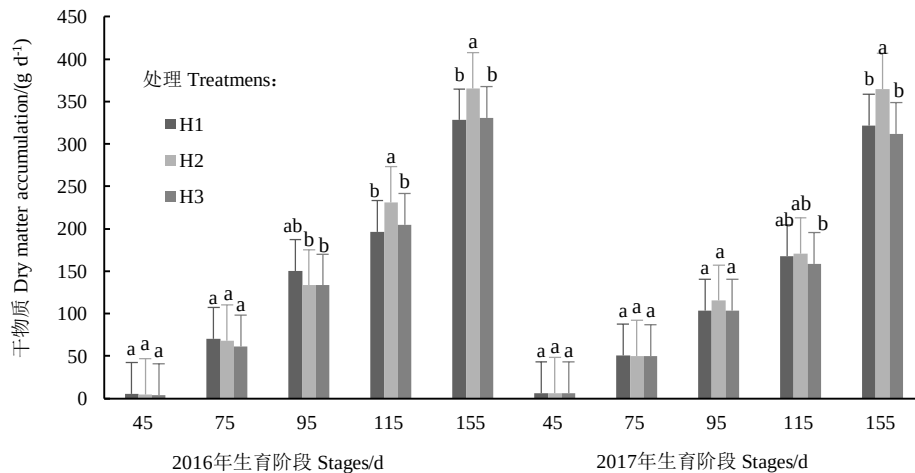


图 4 不同种植株数对玉米干物质积累量的影响

Fig.4 Effects of plant number per hole on dry matter accumulation of spring maize

2.3 不同种植株数对产量与水分生产效率 (WUE) 的影响

不同种植株数对产量及产量的构成因素的影响是一致的, 产量及其构成要素均随单穴种植株数的增加呈先增加后减小趋势。在同一密度条件下, 不同种植规格之间产量差异显著 ($P<0.05$), H2 处理的产量显著 ($P<0.05$) 高于 H1、H3 处理, 与 H1、H3 处理相比较, 2 a 分别平均增产 21.6%、24.6%。这是由于 H2 处理的穗粒数多于 H1、H3 处理, 千粒质量显著 ($P<0.05$) 高于 H1 处理, H2 与 H3 处理之间差异不显著 ($P>0.05$)。由于每年的温度、光照时间、降

水等气象条件不同, 从而造成年际间产量及其穗粒数、千粒质量之间存在一定的差异, 但差异不显著 ($P>0.05$)。可见, 1 穴 2 株种植对产量构成要素有改善作用, 进而显著提高玉米的产量。这主要是因为, 在相同种植密度和株距下, 采用 1 穴 2 株种植时玉米宽行距大于 1 穴 1 株种植模式, 这样其通风透光情况都较 1 穴 1 株好, 而 1 穴 3 株种植虽然增加了玉米宽行距, 但是由于 1 穴中种植密度增加, 不利于群体生长发育, 因而 1 穴 2 株种植改善了群体结构和功能, 通过增加后期干物质积累, 提高了粒质量, 进而提高了籽粒产量。

在各处理中,H2 处理 $WUE(34.22\text{ kg}/(\text{hm}^2\text{ mm}))$ 显著 ($P<0.05$) 高于 H1、H3 处理, 2 a 平均较 H1、H3 处理的 WUE 分别提高 25.0%、33.5%; 同时 H2 处理的氮素收获指数分别较 H1、H3 处理高 0.2%、32.7%。年际间由于每年的温度、光照时间、降水等气象条件不同,从而使水分利用效率存在一定的差异,但差异不显著 ($P>0.05$)。由此可见,在相同种植密度、相同株距下,采用 1 穴 2 株种植对水分和养分利用效率具有显著的提高效应。

2.4 不同株数对春玉米光合势的影响

光合势是量化作物群体光合速率的重要指标,同时也是反映作物长势与预测作物产量的重要农学参数^[16]。作物生育进程中,后期保持庞大的绿色叶面积是保证作物高产的基础^[17]。研究发现,各处理的光合势从拔节期至吐丝期呈直线增加趋势(图 5),吐丝

期至灌浆期呈缓慢增加趋势,灌浆期到成熟期呈快速增加的趋势。2016 年拔节期至吐丝期各处理的光合势基本一致;2017 年拔节期至吐丝期(播种后 95 d),可能由于同穴中玉米相互竞争养分的影响,使得 H2 与 H3 处理较 H1 处理光合势小;吐丝期至成熟期呈现出 H2、H3、H1 处理依次增加的趋势,H2 处理较 H1、H3 处理分别高 4.60%~12.74%、8.97%~9.79%。年际间对光合势的影响显著,是由于每年的温度、光照时间、降水等气象条件不同,从而造成年际间叶面积存在一定的差异,进而使得各生育阶段的光合势存在差异。可见,1 穴 2 株种植对吐丝期以后的光合势有提高效应,继续增加种植株数,由于同穴中的种植密度增加,相互之间对养分的竞争,导致该光合效应将会降低,而对吐丝期前影响不大。

表 2 不同种植株数对春玉米产量及产量构成因素的影响

处理 Treatments	2016 年			2017 年		
	穗粒数/(粒 穗 ⁻¹)	千粒质量/g	产量	穗粒数/(粒 穗 ⁻¹)	千粒质量/g	产量
	Grains per spike	Grain weight	Yield/(t hm ⁻²)	Grains per spike	Grain weight	Yield/(t hm ⁻²)
H1	519.32±14.44a	351.42±36.24	9.68±0.37b	488.82±12.81b	367.69±20.80a	10.10±0.40ab
H2	520.39±32.98a	404.46±5.34a	11.61±0.94a	569.43±52.54a	369.90±21.32a	12.45±1.78a
H3	517.53±43.98a	398.16±2.28a	11.42±1.06a	468.64±12.27b	334.92±39.02a	8.44±2.07b

表 3 不同种植株数对玉米水分利用效率及氮素收获指数的影响

处理 Treatments	产量 Yield/(t hm ⁻²)		耗水量 Water consumption/mm		水分利用效率 WUE/(kg hm ⁻² mm ⁻¹)		氮素收获指数 NHI	
	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年
	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年
H1	9.68b	10.10ab	332.67a	371.36a	29.1c	27.2b	46.99a	62.51a
H2	11.61a	12.45a	339.39a	346.27a	34.2a	36.0a	48.90a	62.61a
H3	11.42a	8.44b	352.69a	378.25a	32.4b	22.3b	37.08a	46.86b

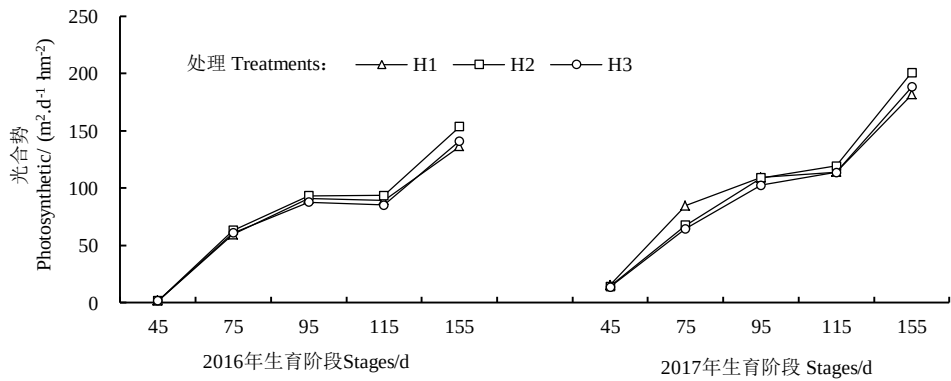


图 5 不同种植株数对光合势的影响

Fig.5 Photosynthetic potential of spring maize under different treatments

2.5 不同株数对春玉米相对生长率及生长速率的影响

随着生育期的推移,各处理的相对生长率逐渐降

低(图 6)。2016 年拔节期(45 d)至吐丝期(95 d)的相对生长率差异不大;吐丝期(95 d)至灌浆期(115

d) 表现出 1 穴 2 株大于 1 穴 1 株和 1 穴 3 株种植；成熟期各处理相对生长率趋于一致。2017 年相对生长率从大喇叭口期（75 d）直至灌浆期（115 d）1 穴 2 株种植明显高于其他 2 处理。试验结果表明，1 穴 2 株种植较传统 1 穴 1 株种植对吐丝期以后相对生长率有明显促进作用。

2016—2017 年的测定结果表明（图 7），各处理作物生长速率从拔节期（45 d）到大喇叭口期（75 d）逐渐升高，且处理间保持一致。年际间存在差异是由于 2017 年大喇叭口期至吐丝期干物质积累量较 2016 年略大，导致此生育阶段的生长速率大于 2016 年的生长速率。2016 年大喇叭口期至吐丝期 H1、H3、H2

处理表现出递增的趋势，吐丝期以后，H1 处理快速下降，而 H2 处理持续增加，灌浆期以后 3 个处理缓慢下降。2017 年大喇叭口期至吐丝期 H3、H1、H2 处理呈依次增加的趋势，吐丝期以后，各处理缓慢下降。由此可见，1 穴 2 株种植可以显著提高作物生长速率。

通过对 2 a 的试验结果分析表明，玉米群体通过对光合有效辐射的截获、吸收，不同株数种植显著影响玉米的光合生产能力。与传统的 1 穴 1 株相比，1 穴 2 株和 1 穴 3 株种植使玉米后期的光合势明显提高，且 1 穴 2 株种植显著高于其他 2 个处理，因而灌浆中后期的作物生长速率和相对生长率均高于 1 穴 1 株。

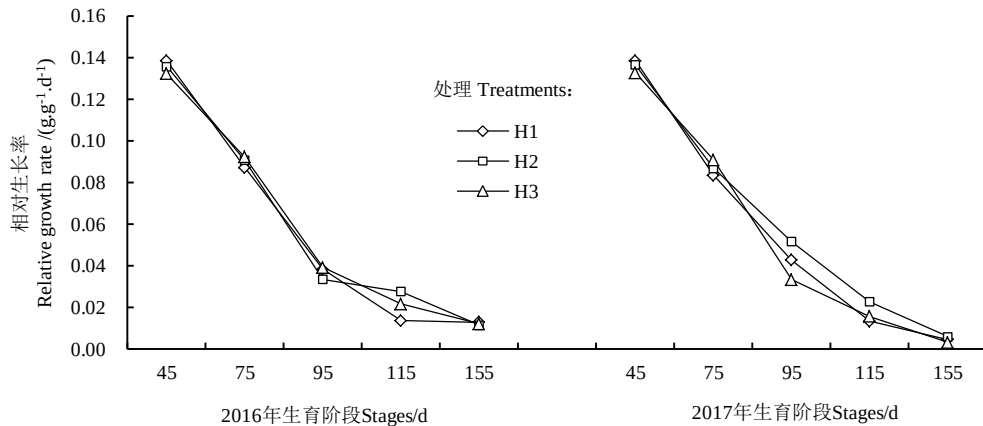


图 6 不同种植株数对玉米相对生长率的影响

Fig.6 Relative growth rate of spring maize under different treatments

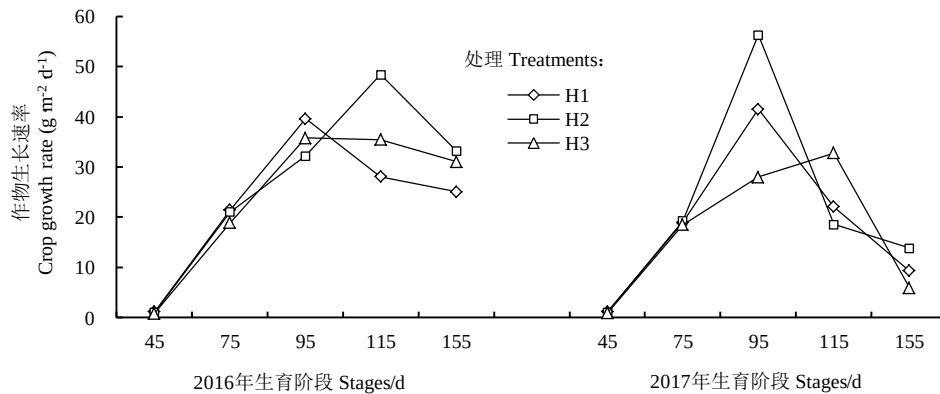


图 7 不同种植株数对玉米生长速率的影响

Fig.7 Crop growth rate of spring maize under different treatments

3 讨论

叶片是作物进行光合作用的主要器官，叶面积指数的增加有利于光合物质生产能力的改善，促进玉米的生长发育^[18]。本研究表明，在相同种植密度下，春玉米膜下滴灌 1 穴 2 株增宽行种植可提高群体叶面积指数，增加单株叶面积。大喇叭口前各处理的叶面积指数差异不显著 ($P>0.05$)，大喇叭口后 H2、H3 处理叶面积指数持续增加至灌浆期，而传统 1 穴 1 株种

植在吐丝期以后已开始下降，生育后期是玉米产量形成的关键期，1 穴 2 株种植可延缓后期叶面积下降，为后期的物质积累和籽粒灌浆保证了足够的光合叶面积，而且可提高吐丝期后干物质积累量。这与王洋等^[19]研究的结果类似，王洋等研究表明宽窄行种植有利于延缓生育后期玉米叶片的衰老。

光合势反映了叶片的光合能力，绿叶面积大则光合能力强。王静静等^[20]的研究结果表明，宽窄行种植方式可使叶片空间分布更合理，提高玉米的光能利用

率。杨吉顺等^[21]通过对种植密度和行距的配置进行研究,发现,在一定的密度下采用宽窄行种植改善了群体冠层结构,提高群体的光合特性。本研究结果与这些结论相一致,本试验 2 a 的结果表明,1 穴 2 株种植(宽行 104 cm)对吐丝期以后的光合势有提高效应,较 H1、H3 处理明显提高,而且相对生长率、作物生长速率均表明为最优。说明在适宜的密度下,采用 1 穴 2 株(增加宽行)种植促进了春玉米叶片的光合作用,使光合同化生产能力增强,而 1 穴 1 株种植减少了群体的光合面积,1 穴 3 株种植虽然群体光合面积增加,但因 1 穴中植株之间对养分的竞争,因此使得 1 穴 1 株和 1 穴 3 株种植规格的相对生长率、作物生长速率受到抑制。

邓妍等^[22]的研究表明,在一定的种植密度下,宽窄行种植可提高籽粒产量达 36%。本试验结果表明,在同一密度条件下 H2 处理的产量显著($P<0.05$)高于 H1、H3 处理,较 H1、H3 处理平均增产 21.6%和 24.6%,这主要是因为,在相同种植密度和株距下,采用宽行种植后,增加了宽行的通风透光,使穗粒数、千粒质量高于 H1、H3 处理,虽然 H3 处理增加了宽行,通风透光能力增强,但由于同穴中株间对水分养分的竞争增强,不利于群体生长发育,从而降低了单株产量。同时还发现,1 穴 2 株增加宽行种植 WUE 较传统种植提高 25.0%,刘志等^[23]研究了不同行距对夏玉米水分利用的影响,结果表明,适宜的行距结构更有利于提高作物的水分利用效率,本试验结果与该结果一致。因此,1 穴 2 株增加宽行种植改善了群体结构和功能,通过增加后期干物质积累,提高了粒质量,进而提高了籽粒产量和水分利用效率。

4 结 论

1) 同 1 年内,在相同的种植密度下,1 穴 2 株种植显著促进了膜下滴灌春玉米叶面积的增长,延缓后期叶片的衰老,有助于后期干物质的积累,提高粒质量,最终提高玉米籽粒产量;1 穴 2 株种植下产量达 12.03 t/hm^2 ,较其他处理提高约 21.6%~24.6%,WUE 提高约 25%~33.5%,氮素收获指数分别提高 0.2%~32.7%,显著高于其他处理($P<0.05$)。

2) 和 H1、H3 处理相比,春玉米 1 穴 2 株种植光合能力增强,光合势分别提高 4.60%~12.74%、8.97%~9.79%,相对生长率分别提高 21.15%~103.06%,吐丝后光合势显著高于 H1、H3 处理,因而灌浆中后期的作物生长速率和相对生长率均最高。

在适宜的密度下,1 穴 2 株增加宽行种植规格有利于实现作物节水高产的目标。

参考文献:

- [1] 范成云.河西走廊灌区氮肥用量对玉米氮素吸收和土壤氮素残留的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
FAN Chengyun. Fertilization rate effects on nitrogen absorption by maize and nitrogen residue in soil in the Hexi Corridor irrigation area [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.
- [2] 李含琳. 建设河西走廊国家级节水农业示范区的研究[J]. 甘肃农业, 2014(3): 44-45.
LI Hanlin. Research on constructing national water-saving agricultural demonstration area in Hexi corridor[J]. Gansu Agriculture, 2014(3): 44-45.
- [3] GOPALAKRISHNAN, M. Sprinkler and micro-irrigated areas in some member countries of ICID[J]. Irrigation & Drainage, 2010, 57(5): 603-604.
- [4] 梁烜赫, 徐晨, 赵鑫, 等. 干旱对不同种植密度玉米生长发育及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(11): 17-21.
LIANG Xuanhe, XU Chen, ZHAO Xin, et al. The impact of drought and planting density on growth and yield of maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(11): 17-21.
- [5] 窦超银, 孟维忠. 种植密度对大垄双行膜下滴灌玉米生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(6): 97-100.
DOU Chaoyin, MENG Weizhong. Effects of planting density on growth and yield of maize in double line at on width ridge under mulch-drip irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(6): 97-100.
- [6] 周勋波, 杨国敏, 孙淑娟, 等. 不同株行距配置对夏大豆群体结构及光截获的影响[J]. 生态学报, 2008, 30(3): 691-697.
ZHOU Xunbo, YANG Guomin, SUN Shujuan, et al. Effect of different plant-row spacing on population structure and PAR interception in summer soybean[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 30(3): 691-697.
- [7] 梁熠, 齐华, 王敬亚. 行距配置对春玉米群体冠层环境与光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(8): 66-72.
LIANG Yi, QI Hua, WANG Jingya. Effects of different row spacing on ecological environment and photosynthetic characteristics of spring maize populations[J]. Acta Agricultural Boreali-occidentalis Sinica, 2014, 23(8): 66-72.
- [8] 同小娟, 李俊, 刘渡. 华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素[J]. 生态学报, 2010, 31(17): 4 889-4 899.
TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du. Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 31(17): 4 889-4 899.
- [9] 李娜娜, 李慧, 裴艳婷, 等. 行株距配置对不同穗型冬小麦品种光合特性及产量结构的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2 869-2 878.
LI Nana, LI Hui, PEI Yanting, et al. Effects of allocations of row-spacing on photosynthetic characteristics and yield structure of winter wheat cultivars with different spike types[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(14): 2 869-2 878.
- [10] 高英波, 陶洪斌, 黄收兵, 等. 密植和行距配置对夏玉米群体光分布

- 及光合特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(6): 9-15.
- GAO Yingbo, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al. Effects of high planting density and row spacing on canopy light distribution and photosynthetic characteristics of summer maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2015, 20(6): 9-15.
- [11] TIMLIN D J, FLEISHER D H, KEMANIAN A R, et al. Plant Density and Leaf Area Index Effects on the Distribution of Light Transmittance to the Soil Surface in Maize[J]. Agronomy Journal, 2014, 106(5): 1828.
- [12] 王云奇, 张英华, 宋文品, 等. 一穴多株种植对夏玉米子粒灌浆和产量的影响[J]. 玉米科学, 2015, 23(5): 117-123.
- WANG Yunqi, ZHANG Yinghua, SONG Wenping, et al. Grain filling and yield of summer maize under planting pattern of more plants per hill[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(5): 117-123.
- [13] 谭秀山, 毕建杰, 刘建栋, 等. 玉米种植方式的发展趋势[J]. 山东农业科学, 2010(5): 57-58.
- TAN Xiushan, BI Jianjie, LIU Jiandong, et al. Development trends of maize planting patterns[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2010(5): 57-58.
- [14] 胡亚瑾, 吴淑芳, 冯浩, 等. 宽垄窄行覆膜种植对夏玉米土壤水热及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(10): 8-12.
- HU Yajin, WU Shufang, FENG Hao, et al. Effects of wide ridge and narrow row with ridge mulching mode on soil water content and temperature and yield of summer maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(10): 8-12.
- [15] 王云奇, 李金鹏, 王志敏, 等. 一穴多株种植对夏玉米群体质量和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(2): 173-182.
- WANG Yunqi, LI Jinpeng, WANG Zhimin, et al. Effects of more plants per hill on population quality and yield of summer maize[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(2): 173-182.
- [16] 张晓艳, 杜吉到, 郑殿峰, 等. 密度对大豆群体叶面积指数及干物质积累分配的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30: 96-100.
- ZHANG Xiaoyan, DU Jidao, ZHENG Dianfeng, et al. Effect of density on leaf area index, dry matter accumulation and distribution in soybean population[J]. Soybean Science, 2011, 30: 96-100.
- [17] 李向岭, 李从锋, 侯玉虹, 等. 不同播期夏玉米产量性能动态指标及其生态效应[J]. 中国农业科学, 2012, 45: 1 074-1 083.
- LI Xiangling, LI Congfeng, HOU Yuhong, et al. Dynamic characteristics of summer maize yield performance in different planting dates and its effect of ecological factors [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45: 1 074-1 083.
- [18] 李小红, 李昊儒, 郝卫平, 等. 滴灌施肥对华北小麦-玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(4): 18-28.
- LI Xiaoli, LI Haoru, HAO Weiping, et al. Impact of drip irrigation on yields and water use efficiency of wheat-maize rotation in North China [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(4): 18-28.
- [19] 王洋, 齐晓宁, 刘胜群, 等. 宽窄行种植方式对生育后期玉米叶片衰老的影响[J]. 土壤与作物, 2016, 5(4): 211-214.
- WANG Yang, QI Xiaoning, LIU Shengqun, et al. Effects of wide-narrow row planting pattern on leaf senescence during seed filling in maize [J]. Soils and Crops, 2016, 5(4): 211-214.
- [20] 王静静, 贺洪军, 张自坤, 等. 宽行窄幅错位密播种植方式对夏玉米光合特性及产量的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(3): 65-72, 79.
- WANG Jingjing, HE Hongjun, ZHANG Zikun, et al. Effects of wide-narrow row interlaced thick-planting pattern on photosynthetic characteristic and yield in summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(3): 65-72, 79.
- [21] 杨吉顺, 高辉远, 刘鹏, 等. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(7): 1 226-1 233.
- YANG Jishun, GAO Huiyuan, LIU Peng, et al. Effects of planting density and row spacing on canopy apparent photosynthesis of high-yield summer corn[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(7): 1 226-1 233.
- [22] 邓妍, 王创云, 赵丽, 等. 行距配置对玉米茎秆抗倒伏特性及光合性能的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(21): 15-20.
- DENG Yan, WANG Chuangyun, ZHAO Li, et al. Row spacing allocation: Effect on stem lodging resistance and photosynthetic properties of maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(21): 15-20.
- [23] 刘志, 肖继兵, 崔丽华. 垄膜沟种不同沟垄比对春玉米水分利用和产量的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 38-43.
- LIU Zhi, XIAO Jibing, CUI Lihua. Effects of different ratios of furrow to ridge under ridge film mulching and furrow seeding on water use and yield of spring corn[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(1): 38-43.

Effects of More Plants per Hole on Yield and Population Quality of Spring Maize with Wide-narrow Allocation under Drip Irrigation

LIAN Caiyun¹, MA Zhongming^{2*}

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture of Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: 【Objective】The influence of the yield and population quality of spring maize was studied under drip irrigation with certain planting density and row spacing to increase yield of spring maize, water and nitrogen use efficiency and realize the mechanization in the field. 【Method】There were three treatments in the field: 1 plant per hole (H1, 37 cm broad-row), 2 plants per hole (H2, 104 cm broad-row) and 3 plants per hole (H3, 172 cm broad-row).

【Result】The difference of the leaf areas and LAI between treatments was significant after the big bell stage. Compared with H1 and H3, the leaf areas under H2 treatment increased by 13.8% and 7.6%, respectively, and the dry matter accumulation was higher after the silk stage. The photosynthetic potential under H2 treatments increased by 4.60%~12.74% and 8.97%~9.79%, respectively, and the relative growth rate increased by 21.15% and 103.06%, respectively, from silk stage to mature stage. The yield of H2 treatment was significantly higher than that of H1 and H3 by 21.6% and 24.6%, respectively, while *WUE* increased by 25.0% and 33.5%, respectively.

【Conclusion】By double plants per hole of spring maize under drip irrigation, the *LAI* and photosynthetic potential were enhanced with delaying green leaves. Thus, it is helpful to accumulate dry matter in later stage, increase grain weight and finally increase the yield. Compared with 1 plant per hole (conventionally plant), the yield increased by 21.6% and *WUE* improved by 25% under double plants per hole.

Key words: drip irrigation; more plants per hole; spring maize; yield; population quality

责任编辑: 韩 洋

~~~~~  
(上接第 26 页)

## Effect of Different Soil Moisture Content on the Growth and Quality of Taihang Taxus

DENG Zhe, YAO Sumei<sup>\*</sup>, MENG Li, ZHANG Yuhao

(Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

**Abstract:** 【Objective】The aim of this study is to explore the effects of different soil moisture content on the growth and related quality of Taihang Taxus in potted plants. 【Method】Taking five-year-old Taihang Taxus as the test materials, an investigation was made on the growth, soluble protein, malondialdehyde, chlorophyll, flavonoids, polysaccharides and characteristics of Taihang Taxus in five different soil moisture contents which were set as 90%~100%(W1), 80%~90%(W2), 70%~80%(W3), 60%~70%(W4) and 50%~60%(W5) of the maximum soil field capacity. 【Result】In treatment W2 the plant height, stem diameter, canopy, leaf area index and chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll all reached the highest level. Compared with those in treatment W1, the results were improved by 11.4%, 26.7%, 11.7%, 15.6%, 14.4%, 8.9% and 13.0% respectively, and the malondialdehyde content was the lowest in the treatment groups, which was 14.1% lower than that in treatment W1. Treatment W4 had the highest amount of polysaccharide and soluble protein. When compared with treatment W1, 107.5% and 42.0% were improved for polysaccharide and soluble protein, respectively. Treatment W3 had the highest amount of flavonoids, which was 93.6% higher than that in treatment W1. 【Conclusion】Treatment W2 is good for growth in Taihang Taxus, and treatment W3 is good for accumulating flavonoids in Taihang Taxus, while treatment W4 is good for accumulating polysaccharides in Taihang Taxus.

**Key words:** soil moisture content; growth; soluble protein; malondialdehyde; chlorophyll; flavonoids; polysaccharides

责任编辑: 赵宇龙