

文章编号: 1005-0906(2009)03-0107-06

耐密玉米杂交种密度效应研究

杨贵兰¹, 李新海², 李红³, 李爱军³, 董红芬³, 申毅力¹

(1. 山西长治职业技术学院, 山西 长治 046000; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081;

3. 山西省农业科学院谷子研究所, 山西 长治 046011)

摘要: 研究了郑单 958 和先玉 335 在山西长治地区生态条件下的种植密度效应, 分析了光合特性和产量及其构成因素。结果表明: 郑单 958 的适宜栽培密度为 7.50 万 ~ 9.00 万株 /hm², 在此密度下产量为 13 056.0 ~ 13 526.0 kg/hm², 叶面积指数在抽雄至蜡熟期为 4.2 ~ 6.2, 蜡熟至完熟期保持在 2.6 左右, 经济产量形成期的群体光合势占总光合势的 67.53%, 全生育期平均净同化率为 7.2 ~ 8.3 g/(m²·d); 最佳产量结构为单位面积穗数 7.50 万 ~ 8.82 万穗/hm²、穗粒数 524 ~ 466 粒、千粒重 332.0 ~ 329.0 g。先玉 335 的适宜栽培密度为 7.50 万株 /hm², 在此密度下产量为 13 714.5 kg/hm², 叶面积指数在抽雄至蜡熟期 4.0 ~ 5.2, 蜡熟至完熟保持在 2.6 左右, 经济产量形成期的群体光合势占总光合势的 66.42%, 全生育期平均净同化率为 7.9 g/(m²·d); 最佳产量结构为单位面积穗数 7.50 万穗 /hm²、穗粒数 538 粒、千粒重 339.9 g。

关键词: 玉米; 密度; 产量; 光合特性

中图分类号: S513.04

文献标识码: A

Plant Density Effects on Compact Maize Morphology and Yield Components

YAN Gui-lan¹, LI Xin-hai², LI Hong³, LI Ai-jun³, DONG Hong-fen³, SHEN Yi-li¹

(1. Shanxi Changzhi Vocational and Technical College, Changzhi 046000;

2. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

3. Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Changzhi 046011, China)

Abstract: In this paper, two maize hybrids (Zhengdan958 and Xianyu335) were used to study the plant density effects on photosynthesis characteristic, yield and its component in Changzhi, Shanxi province. The results showed that the suitable plant density for Zhengdan958 was 75 000 to 90 000 plants/ha, grain yield from 13 056.0 to 13 526.0 kg/ha. The LAI (leaf area index) was 4.2 to 6.2 and 2.6 respectively during the time of tasselling to kernel-waxy-ripe stage. The proportion of photosynthesis at economic yield forming stage to total photosynthesis was 67.53%. The average of net assimilating rate in whole growth period was 7.2 to 8.3 g/(m²·d). The best yield components for Zhengdan958 were 75 000 to 88 200 ears/ha, 524 to 466 kernel number, and 332.0 to 329.0 g for 1 000-kernel-weight. The suitable plant density for Xianyu335 is 75 000 plants/ha, with grain yield of 13 714.5 kg/ha. The LAI was 4.0 to 5.2 and 2.6 respectively during the time of tasseling to kernel-waxy-ripe stage. The proportion of photosynthesis at economic yield forming stage to total photosynthesis was 66.4%. The average of net assimilating rate in whole growth period is 7.9 g/(m²·d). The best yield components for Xianyu335 were 75 000 ears/ha, 538 kernel number, and 339.0 g for 1 000-kernel-weight.

Key words: Maize; Plant density; Yield; Photosynthesis characteristic

收稿日期: 2008-12-17

作者简介: 杨贵兰(1965-), 女, 山西长治人, 副教授, 主要从事农业

教学工作。Tel: 0355-3526233

E-mail: yygll651103@sina.com

李新海和李红为本文通讯作者。

玉米产量在一定范围内随密度增加而提高, 合理密植可使群体和个体生长发育协调, 解决穗数、粒数、粒重三者之间的矛盾, 一个合理的群体必须是三者乘积的最大值。密度达到一定程度后, 随着密度的增加, 产量反而下降。因此, 研究玉米品种在一定生态条件 and 生产水平下的最适密度是该品种高产栽培

研究的重要内容。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验于 2007 年 4 月 26 日至 9 月 20 日在山西省农科院谷子研究所育种试验基地进行。试验地为沙壤土,肥力中上等,排灌方便。0~20 cm 土层内的有机质含量为 1.86 g/kg,全氮 74 mg/kg,碱解氮 58.99 mg/kg,速效磷 6.89 mg/kg,速效钾 195 mg/kg,前茬为玉米。采用机械划行,人工播种。

1.2 供试品种

供试玉米品种为郑单 958 和先玉 335。

1.3 试验设计

试验为裂区设计,以密度为主区,品种为副区。密度设置 5 个处理水平,即 45 000、60 000、75 000、90 000、105 000 株/hm²(郑单 958 的 5 个密度处理分别用郑 1、郑 2、郑 3、郑 4、郑 5 表示;先玉 335 分别用先 1、先 2、先 3、先 4、先 5 表示)。小区面积 15 m²,5 行区,小区行长 5 m,60 cm 等行距,各处理株距不等以调节密度。4 次重复,其中第 4 次重复为取样区,按隔行隔株方法取样。取样区不计产,另外 3 个重复收获计产。播前一次性施入硝酸磷肥 600 kg/hm²,拔节期追尿素 75 kg/hm²,大口期追尿素 525 kg/hm²。其他管理措施与玉米大田生产一致。

1.4 测定项目

记载不同密度下两个杂交种的生育时期和生育

期。在各生育时期(3 叶期、拔节期、大口期、抽雄期,吐丝期、乳熟期、蜡熟期、完熟期)取 3 株具有代表性植株,测定单株叶面积和干物质积累量(将叶、叶鞘、茎、苞叶、雄穗、雌穗分别称鲜重并装袋,放入烘箱于 105℃杀青 30 min,80℃下烘至恒重称重)。

叶面积(m²): $S=0.75 \times L \times D$ (L 为叶长, D 为叶最大宽);

叶面积指数:LAI= 单株平均绿叶面积×每公顷实有株数/10 000(叶面积单位为 m²);

光合势[(m²·d)/hm²]:LAD=[(第 1 次测定叶面积指数+第 2 次测定的叶面积指数)/2]×间隔天数;

净同化率[g/(m²·d)]:NAR=(第 2 次测定植株干重-第 1 次测定植株干重)/该段时期的光合势。

1.5 数据处理

对试验结果的产量用 Excel 软件做方差分析,用 SASS 软件做产量差异显著性比较,利用 Excel 软件对光合指标、干物质积累动态进行模拟及回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度对两个品种产量及其构成因素的影响

玉米子粒产量受单位面积穗数、穗粒数、千粒重 3 因素共同影响,这些因素在不同密度下对子粒产量的贡献大小不同。不同密度处理下的单位面积穗数、单穗粒数和千粒重 3 个产量构成因素列于表 1。

表 1 两个品种在不同密度处理下产量构成因素及产量表现
Table 1 Yield and its components of two maize hybrids under different planting densities

处 理 Treatments	密度(万株/hm ²) Density	穗数(穗/hm ²) Ears per ha	穗粒数(粒) Kernels per ear	千粒重(g) 1 000-kernel weight	产量(kg/hm ²) Yield	备 注 Note
郑 1	4.50	45 675	573	340.8	8 919.0 a	F=15.37**
郑 2	6.00	60 240	548	335.2	11 065.5 a	
郑 3	7.50	75 000	524	332.2	13 056.0 b	
郑 4	9.00	88 200	466	329.0	13 526.0 b	
郑 5	10.50	100 275	402	275.1	11 086.9 c	
先 1	4.50	45 585	599	352.8	9 633.0 a	F=13.13**
先 2	6.00	60 360	557	344.4	11 579.4 b	
先 3	7.50	75 000	538	339.9	13 714.5 b	
先 4	9.00	88 740	482	290.2	12 412.5 b	
先 5	10.50	99 960	436	262.3	11 431.5 c	

2.1.1 密度与单位面积穗数的关系

对种植密度和单位面积穗数进行回归分析,得出穗数与密度的关系曲线,其中拟合度最好的是一次曲线,其回归方程为:

郑单 958: $Y_{\text{穗数}}=5\,298+9\,144X$
($R^2=0.944\,0$, $F=57.91^{**}$)
先玉 335: $Y_{\text{穗数}}=5\,364+9\,142X$
($R^2=0.997\,3$, $F=57.96^{**}$)

在本试验条件下两个品种单位面积穗数均随密度的增加而增加,郑单 958 在 8.82 万穗 /hm² 时产量最高,先玉 335 在 7.50 万穗 /hm² 时产量最高。说明在低密度时产量随着穗数的增加而增加,而在高密度时产量随穗数的增加而降低。

2.1.2 密度与穗粒数的关系

穗粒数与密度的关系一般随着密度的增加而呈直线下降趋势。将穗粒数与密度数据进行回归分析,得出穗粒数与密度的关系曲线,其回归方程为:

郑单 958: $Y_{\text{穗粒数}} = 714.6 - 28.267X$ ($R^2 = 0.949\ 4$)
先玉 335: $Y_{\text{穗粒数}} = 722.9 - 26.733X$ ($R^2 = 0.980\ 2$)

从表 1 中可以看出,两个品种穗粒数随密度的变化趋势相同,均随密度的增加而降低。郑单 958 穗粒数为 466 时产量最高,先玉 335 穗粒数为 538 时产量最高。如果密度过高,植株间互相争夺水肥,造成植株营养不良,雌蕊的发育、授粉以及灌浆结实均会受到影响。

2.1.3 密度与千粒重的关系

在本试验条件下,对试验数据进行回归分析,得出千粒重与密度的关系曲线,其中拟合度最好的是

二次曲线,其回归方程为:
郑单 958: $Y_{\text{千粒重}} = 232.23 + 36.922X - 3.073X^2$ ($R^2 = 0.890\ 0, F = 69.6^{**}$)
先玉 335: $Y_{\text{千粒重}} = 297.19 + 24.415X - 2.673X^2$ ($R^2 = 0.964\ 1, F = 30.6^{**}$)

从表 1 中可以看出,郑单 958 千粒重由 340.8 g 减少到 275.1 g,产量最高时千粒重为 329 g;先玉 335 千粒重由 352.8 g 减少到 262.3 g,产量最高时千粒重为 339.9 g。随密度增加千粒重减少,说明密度的增加影响玉米子粒的灌浆和养分转运,造成千粒重降低。

2.2 不同密度对两个品种光合性能的影响

2.2.1 不同密度处理对两个品种单株叶面积的影响
在不同密度条件下,玉米单株叶面积发展动态均表现为单峰曲线变化。苗期单株叶面积增长缓慢,拔节以前不同密度处理间叶面积差别不明显,拔节后叶面积增长加快,到抽雄开花期达到高峰并持续到蜡熟期,蜡熟期后叶面积迅速衰减。在不同密度条件下,单株叶面积的变化均表现为随着密度的增加呈递减的趋势。

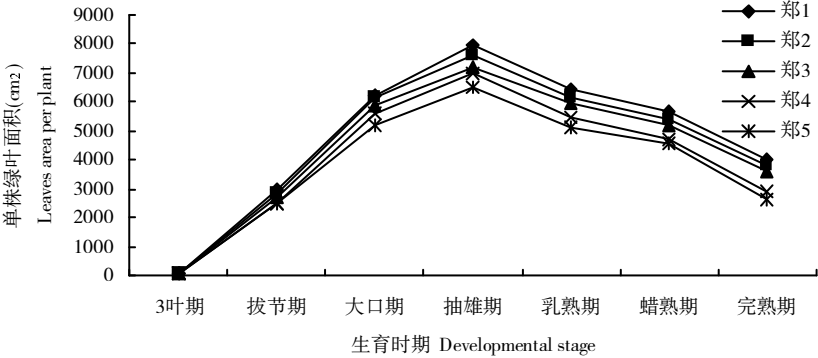


图 1 在不同密度下郑单 958 不同生育时期的单株绿叶面积变化
Fig.1 Leaf area per plant of Zhengdan958 under different planting densities

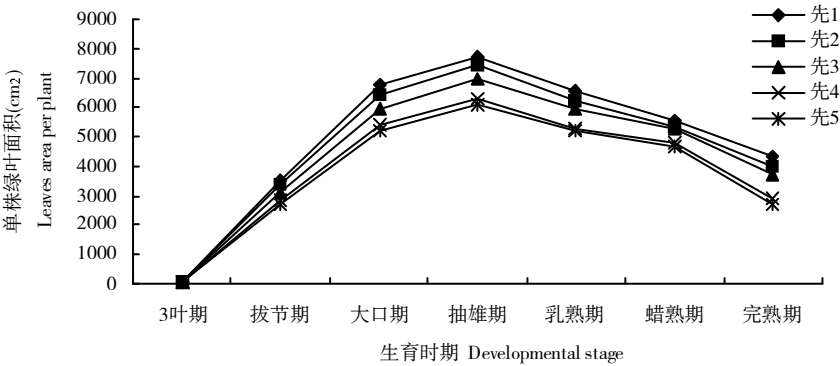


图 2 在不同密度下先玉 335 不同生育时期的单株绿叶面积变化
Fig.2 Leaf area per plant of Xianyu335 under different planting densities

虽然各处理叶面积变化趋势存在某些相似性,但各处理间叶面积变化仍存在一定的差异。郑单 958 单株叶面积最大期至完熟期随着密度的增加叶面积下降的幅度依次为 49.26%、49.77%、50.38%、58.52%和 59.75%(图 1)。先玉 335 单株叶面积最大期至成熟期随着密度的增加叶面积下降的幅度依次为 43.37%、46.11%、46.77%、53.69%和 55.28%(图 2)。

2.2.2 不同密度处理对两个品种叶面积指数(LAI)的影响

在整个生长期间,玉米群体 LAI 随生育期的进展而呈单峰曲线变化,两个品种的 LAI 都随着密度的增加而增大,以拔节期至抽丝期增长速率最快,至

乳熟期稳定,到蜡熟期以后 LAI 减缓。随着密度的增大,增长速率逐渐减小。密度从 45 000 株 /hm² 增加到 105 000 株 /hm² 时,郑单 958 在 3 叶期至拔节期 LAI 增长量分别为 1.29、1.63、1.94、2.19 和 2.5,拔节至抽雄期增长量分别为 2.24、2.87、3.41、4.03 和 4.27(图 3)。先玉 335 在 3 叶期至拔节期 LAI 增长量分别为 1.56、1.95、2.27、2.51 和 2.77,拔节至抽雄期增长量分别为 1.87、2.48、2.93、3.12 和 3.56(图 4)。从 LAI 增长率来看,随着密度的增加群体 LAI 增加,但其增加幅度逐渐减小。表明随着密度的提高,LAI 的增加是单株叶面积减小和群体数量增加共同作用的结果。

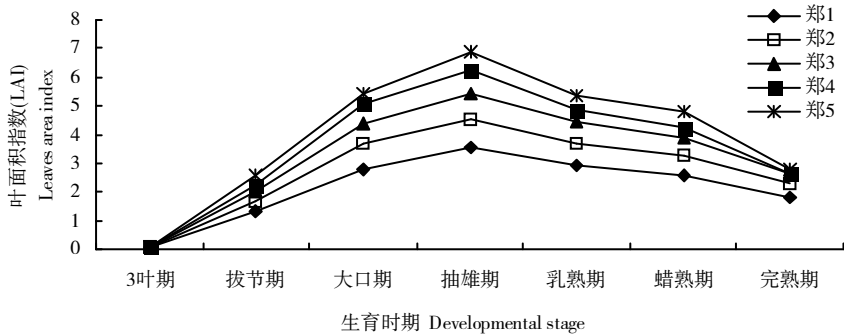


图 3 在不同密度处理下郑单 958 不同生育时期的叶面积指数变化
Fig.3 LAI of Zhengdan958 under different planting densities

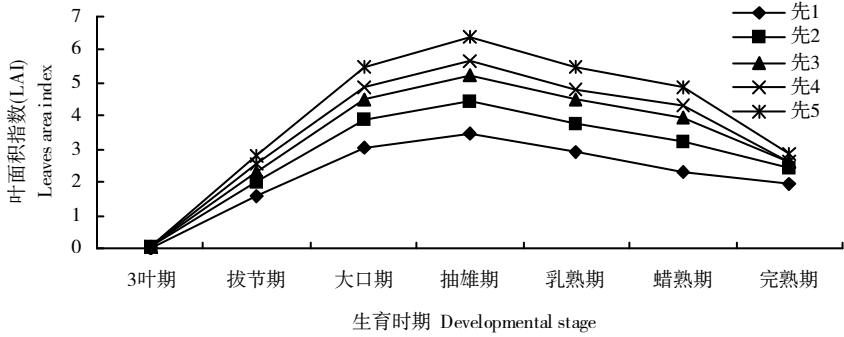


图 4 在不同密度处理下先玉 335 不同生育时期的叶面积指数变化
Fig.4 LAI of Xianyu335 under different planting densities

2.2.3 不同密度处理对两个品种生育期光合势(LAD)的影响

大喇叭口期以前阶段光合势增加较缓,从大喇叭口期开始加快,抽雄至乳熟期光合势达最高值,蜡熟期后速减。高密度处理下的阶段光合势和总光合势虽始终保持高值,但与产量水平不成正比,表明高产群体的光合势发展动态及总量要求必须合理和适度。在 75 000 株 /hm² 密度下的郑单 958 光合势动态:3 叶期至拔节期为 31.08(万 m²·d)/hm²,拔节期至

大喇叭口期为 48.00(万 m²·d)/hm²,大喇叭口期至抽雄期为 49.05(万 m²·d)/hm²,抽雄期至乳熟期为 148.35(万 m²·d)/hm²,乳熟期至蜡熟期为 87.99(万 m²·d)/hm²,蜡熟期至完熟期为 32.65(万 m²·d)/hm²,总光合势为 397.12(万 m²·d)/hm²。经济产量形成期的光合势占总光合势的 67%以上(表 2)。

从表 2 可以看出,抽雄期至完熟期,郑单 958 从 45 000 株 /hm² 到 105 000 株 /hm² 的光合势占总光合势的百分比分别为 67.75%、67.55%、67.74%、67.03%

和66.96%；先玉 335 的光合势占总光合势的百分比分别为 65.25%、65.89%、66.45%、66.09%和 66.35%。对于同一个品种,随着密度的增加,光合势也呈递增的趋势。密度从 45 000 株 /hm² 到 105 000 株 /hm², 郑单 958 光合势增加量分别为 43.45、39.87、27.59、26.50(万 m²·d)/hm²;先玉 335 光合势增加量分别为 45.36、38.55、17.63、33.76(万 m²·d)/hm²。全生育期总光合势也随着种植密度的增加而增加。

表 2 两个品种在不同密度处理下全生育期光合势(LAD)的发展动态

Table 2 LAD of two maize hybrids under different planting densities								(万 m ² ·d)/hm ²
处 理	密 度	3 叶期 – 拔节期	拔节期 – 大口期	大口期 – 抽雄期	抽雄期 – 乳熟期	乳熟期 – 蜡熟期	蜡熟期 – 完熟期	全生育期
Treatment	(万株 /hm ²)	3-leaf-	Jointing stage-	Big bell-	Tasselling stage-	Milky stage-	Wax ripeness	Growth period
	Density	Jointing stage	Big bell-mouthed	mouthed stage-	Milky stage	Wax ripeness	stage-Maturity	
			stage	Tasselling stage		stage		
郑 1	4.50	20.51	30.90	31.80	96.00	57.02	21.75	257.98
郑 2	6.00	25.95	40.43	41.30	123.60	72.87	27.65	331.80
郑 3	7.50	31.08	48.00	49.05	148.35	87.99	32.65	397.12
郑 4	9.00	35.01	54.90	56.75	167.85	96.08	34.30	444.89
郑 5	10.50	40.14	60.23	61.50	183.75	106.68	37.65	489.95
先 1	4.50	24.27	34.88	32.60	96.00	55.02	21.30	264.07
先 2	6.00	30.41	44.03	41.75	123.30	73.08	28.10	340.67
先 3	7.50	35.48	51.08	48.70	146.10	88.83	32.95	403.14
先 4	9.00	39.23	55.58	52.65	156.90	95.66	34.80	434.82
先 5	10.50	43.40	62.18	59.25	177.75	108.57	38.70	489.85

将两个品种各生育时期试验数据进行方差分析,生育时期的 F 值均达到了极显著水平。后的 F 值列在表 3。从表 3 可以看出,两个品种主要

表 3 两个玉米品种各生育时期的方差分析(F 值)

Table 3 F values of two maize hybrids at developmental stages				
品 种	大口期 – 抽雄期	抽雄期 – 乳熟期	乳熟期 – 蜡熟期	蜡熟期 – 完熟期
Variety	Big bell-mouthed stage-	Tasselling stage-	Milky stage-	Wax ripeness stage-
	Tasselling stage	Milky stage	Wax ripeness stage	Maturity
郑单 958	55.85**	75.79**	75.74**	61.37**
先玉 335	70.52**	88.12**	88.35**	55.37**

2.2.4 不同密度处理对两个品种各生育时期净同化率(NAR)的影响 化率的高低直接影响到植株干物质积累,从抽雄期到成熟期的干物质积累主要集中在果穗部分,说明玉米的净同化率受密度的影响很大。玉米净同 密度越大果穗的干物质积累越低。

表 4 两个品种不同密度下各生育时期的净同化率(NAR)

Table 4 NAR of two maize cultivars under different planting densities								g/(m ² ·d)
处 理	密 度	3 叶期 – 拔节期	拔节期 – 大口期	大口期 – 抽雄期	抽雄期 – 乳熟期	乳熟期 – 蜡熟期	蜡熟期 – 完熟期	
Treatment	(万株 /hm ²)	3-leaf-	Jointing stage-	Big bell-	Tasselling stage-	Milky stage-	Wax ripeness	
	Density	Jointing stage	Big bell-mouthed	mouthed stage-	Milky stage	Wax ripeness	stage-Maturity	
			stage	Tasselling stage		stage		
郑 1	4.50	6.59	11.24	8.99	10.14	7.47	5.38	
郑 2	6.00	6.39	10.66	9.08	9.44	7.99	6.08	
郑 3	7.50	6.38	10.44	7.80	9.81	8.69	6.43	
郑 4	9.00	6.33	10.28	6.34	8.42	7.68	3.93	
郑 5	10.50	6.03	9.47	5.98	7.14	6.29	2.79	

续表 4 Continued 4

处 理	密 度	3 叶期 - 拔节期	拔节期 - 大口期	大口期 - 抽雄期	抽雄期 - 乳熟期	乳熟期 - 蜡熟期	蜡熟期 - 完熟期
Treatment	(万株 /hm ²)	3-leaf-	Jointing stage-	Big bell-	Tasselling stage-	Milky stage-	Wax ripeness
	Density	Jointing stage	Big bell-mouthed stage	mouthed stage-Tasselling stage	Milky stage	Wax ripeness stage	stage-Maturity
先 1	4.50	7.25	8.69	6.48	13.79	5.99	5.28
先 2	6.00	7.25	9.62	5.17	13.28	6.41	5.12
先 3	7.50	7.58	9.62	5.01	12.81	7.35	5.01
先 4	9.00	7.48	9.36	5.98	11.82	4.99	3.34
先 5	10.50	7.53	7.99	5.49	10.40	3.86	2.44

不同密度处理下的群体净同化率变化与群体光合势变化动态相反，与叶面积指数变化动态呈负向关系，随密度增大而降低。净同化率与光合势的相关程度可通过密度来调控，两者的乘积达最高值时获得最大的生物产量。拔节期后，各密度处理下的群体净同化率随密度的增加而下降，各密度处理全生育期平均净同化率随密度增加而呈下降趋势。这一时期在田间管理上要充分保证群体正常生长发育时所需的肥水要求。从表 4 可以看出，本试验条件下郑单 958 产量最高时的合理群体净同化率从抽雄期至乳熟期为 8.42 ~ 9.81 g/(m²·d)，乳熟期至蜡熟期为 7.68 ~ 8.69 g/(m²·d)，蜡熟期至完熟期为 6.08 ~ 6.43 g/(m²·d)；先玉 335 产量最高时的合理群体净同化率从抽雄期至乳熟期为 12.81 ~ 13.28 g/(m²·d)，乳熟期至蜡熟期为 6.41 ~ 7.35 g/(m²·d)，蜡熟期至完熟期为 5.01 ~ 5.12 g/(m²·d)。

3 讨 论

3.1 密度对玉米产量性状的影响

两个玉米品种的种植密度对产量影响很大，产量随密度变化表现出相似的规律，密度与产量呈二次抛物线关系。低于最高产量的密度时，玉米产量随密度的增大而增加；高于最高产量的密度时，玉米产量随密度的增大而减小，这与陈晖、杨世民等的研究结果一致。

通过合理密植建立最适宜群体结构是发挥紧凑型玉米品种生产潜力的重要技术措施之一。种植过稀或过密都将对创建高产群体结构造成不利影响，从而降低群体的生物产量和经济产量。玉米品种的高产、稳产除取决于自身遗传特性外，还与当地的气候、土壤、肥水、栽培管理等因素密切相关，在具体生产栽培中应因地制宜，采用相应的技术措施以创建适宜的高产群体结构为主攻目标，充分发挥品种的增产潜力。

3.2 密度对玉米光合特性的影响

本试验条件下不同密度处理的各项群体光合生理指标表明，最佳产量水平的群体不是某项或几项生理指标的突出表现，而决定于各项生理指标的适度，综合反映出群体结构性能的优劣，最终体现在经济产量形成阶段的群体干物质生产能力上。群体叶面积、阶段光合势及总光合势、群体干物质生产率、开花期群体干物质积累等指标可作为耐密玉米建立超高产群体生理指标的参数，同时重视生育后期各项田间管理措施的配合。

参考文献：

[1] 佟屏亚,程延年. 玉米密度与产量关系的研究[J]. 北京农业科学, 1995(2):23-25 .

[2] 侯旭光,冯 勇. 紧凑型春玉米高产优化栽培的群体光合性能研究[J]. 玉米科学,1997,5(4):45-49 .

[3] 陈 晖,郑贤陆,蒋艳华. 鲜食玉米不同密度下的产量效应[J]. 湖南农业科学,2006(4):48-49 .

[4] 杨世民,廖尔华,袁继超,等. 玉米密度与产量及产量构成因素关系的研究[J]. 四川农业大学学报,2000(12):322-324 .

[5] 刘开昌,等. 玉米光合性能与耐密性关系的研究[J]. 山东农业科学,2001(6):25-29 .

[6] 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):1-5 .

[7] 杜天庆,郝建平,等. 密度对冀承单 3 号产量形成因素及产量的影响[J]. 山西农业大学学报,2000,20(3):201-204 .

[8] 郭 斌,王友德. 早熟玉米新玉 9 号高产群体结构的研究[J]. 玉米科学,2002,10(增刊):73-76 .

[9] 李 钟,郑祖平,张国清,等. 四川盆地杂交玉米单作密肥措施研究[J]. 杂粮作物,2000,20(2):23-27 .

[10] 柳延涛,李鲁华,陈树宾,等. 密度对高油玉米群体生理特性的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2006(4):183-186 .

[11] 刘武仁,刘凤成,冯艳春,等. 玉米不同密度的生理指标研究[J]. 玉米科学,2004,12(专刊):82-83,87 .

[12] 田 伟,宋忠利,田文灿. 玉米新品种郑单 958 高产栽培密度技术效应研究[J]. 商丘职业技术学院学报,2004(6):68-70 .

[13] 孙 锐,彭 畅,等. 不同密度春玉米叶面积系数动态特征及其对产量的影响[J]. 玉米科学,2008,16(4):61-65 .

(责任编辑:尹 航)