

密度与氮肥对关中灌区夏玉米 (*Zea mays* L.) 群体光合生理指标的影响

马国胜¹, 薛吉全^{1,*}, 路海东¹, 张仁和¹, 邵书静¹, 任建宏²

(1. 西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100; 2. 榆林学院, 榆林 719000)

摘要:合理的密度是玉米构建良好群体结构、优化群体光合生理功能的基础,适宜的氮肥施用量是玉米进行光合生产的营养物质保障。运用作物群体生理学的方法,采用二次饱和 D 试验设计,研究了关中灌区夏玉米密度与氮肥耦合和群体光合生理指标的关系及其效应,明确了在关中灌区夏播条件下,在 45000 ~ 75000 株/hm² 的密度范围内,密度与玉米籽粒产量、总干物质积累量(DMA)、吐丝期叶面积指数(MLAI)、总光合势(LAD)、平均作物生长率(CGR)为正相关,在 45000 ~ 60000 株/hm² 的密度范围内,密度与玉米叶片平均净同化率(NAR)为正相关,而在 60000 ~ 75000 株/hm² 的密度范围内,密度与玉米 NAR 为负相关;在氮素施用量 ≤ 600.0 kg/hm² 的范围内,氮素施用量与玉米籽粒产量、DMA、CGR 为正相关,在氮素施用量 ≤ 260.55 kg/hm² 的范围内,氮素施用量与玉米 MLAI、LAD 为正相关,与玉米 NAR 为负相关,而在氮素施用量 260.55 ~ 600.0 kg/hm² 的范围内,氮素施用量与玉米 MLAI、LAD 为负相关,与玉米 NAR 为正相关。密度对其影响较大的指标为:籽粒产量、DMA、LAD、CGR 和 MLAI,影响较小的指标为:NAR;氮肥对其影响较大的指标为:DMA、CGR、籽粒产量、NAR,影响较小的指标为:LAD 和 MLAI。对籽粒产量和群体生理指标的综合影响效应,密度显著大于氮肥,玉米生产中,尤其要重视合理密植。通过对回归模型的解析,筛选确定了陕单 8806 玉米在关中灌区夏播中,实现高产的密度与氮肥耦合优化技术方案:合理密度为 61713 ~ 66177 株/hm²,适宜纯氮施用量为 309.88 ~ 569.02 kg/hm²。

关键词:夏玉米 (*Zea mays* L.); 密度; 氮肥; 群体生理指标; 籽粒产量

文章编号:1000-0933(2008)02-0661-08 中图分类号:Q945, Q948, S513 文献标识码:A

Effects of planting density and nitrogen fertilization on population physiological indexes of summer maize (*Zea mays* L.) in Guanzhong irrigated zone

MA Guo-Sheng¹, XUE Ji-Quan^{1,*}, LU Hai-Dong¹, ZHANG Ren-He¹, TAI Shu-Jing¹, REN Jian-Hong²

1 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

2 Yulin College, Yulin 719000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0661 ~ 0668.

Abstract: The reasonable plant density was the base of constructing the good population and optimum population physiological functions of maize, the suitable nitrogen application was the base of nutrition matter of maize photosynthate production. The D-saturation optimum design and crop population physiology were used to investigate the effects and relationships of plant density and nitrogen fertilization on population physiological indexes and yields of summer maize in

基金项目:国家“863”计划项目资助(2006AA100201);陕西省科技攻关资助项目(2006KZ06-G3);西北农林科技大学科研专项资助项目(05ZR018)

收稿日期:2006-11-25; 修订日期:2007-05-09

作者简介:马国胜(1970~),男,陕西杨凌人,主要从事玉米栽培生理与高产栽培技术研究。E-mail: mgs2551@sina.com, qxmgs163@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjq2934@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was financially supported by National 863 project of China (No. 2006AA100201); Science and technology brainstorm item of Shaanxi province (2006KZ06-G3); Project of Northwest A&F University (No. 05ZR018)

Received date: 2006-11-25; **Accepted date:** 2007-05-09

Biography: MA Guo-Sheng, mainly engaged in the physiological mechanisms of maize high yield. E-mail: mgs2551@sina.com, qxmgs163@163.com

Guan-zhong irrigated zone. The results showed that the relationship of plant density and grain yield, DMA (dry matter accumulate), MLAI (max leaf area index), LAD (leaf area duration), CGR (crop growth rate) are positive in the range of 45000—75000 plants/hm²; The relationship of grain yield and leaf NAR (net assimilation rate) were negative in the range of 45000—60000 plants/hm², while its were positive in the range of 60000—75000 plants/hm². The relationship of nitrogen application and grain yield, DMA, CGR were positive when nitrogen were less applied 600.0 kg/hm² per hectare. When nitrogen were less applied 260.55 kg/hm² per hectare, the relationship of nitrogen application and MLAI, LAD were positive while the relationship of nitrogen application and NAR were negative. During the nitrogen application range of 260.55—600.0 kg/hm², the relationship of nitrogen application and MLAI, LAD were positive while the relationship of nitrogen application and NAR were negative. The influence of plant density on grain yield, DMA, MLAI, LAD, CGR were higher than that of NAR. The influence of nitrogen application on grain yield, DMA, NAR, CGR were higher than that of MLAI, LAD. The effect on the grain yield and population physiological indexes of maize Shandan8806 were more significant than that of nitrogen application, summer maize shaandan8806 should be reasonable plant density in its production. The optimum technology programs of the factors of summer maize in Guan-zhong irrigated zone were given: the optimum combinations of plant density date and nitrogen application were 61713—66177 plants/hm² and 309.88—569.02 kg/hm² respectively under the conditions of the experiment.

Key Words: summer maize; plant density; nitrogen fertilization; population physiological indexes; grain yield

玉米 (*Zea mays* L.) 为 C₄ 植物, 是一种高光效高产作物, 其干物质产量的 90% 以上是由光合作用生产的, 玉米品种的高产潜力能否得以发挥, 与群体的光合性能有着密切的关系^[1,2], 作物的生产是一个种群过程, 而非个体的表现^[3], 研究玉米的生产应以玉米群体的光合生理指标和群体生长发育特征作为切入点^[4,5]。

在一定的生态环境中, 密度与氮肥是影响作物生产最主要的两个栽培因素, 适宜的密度与合理的氮肥施用量是作物实现高产的必要条件。玉米产量的高低与其群体质量关系极为密切, 反映玉米群体质量的关键指标是玉米群体的光合生理指标^[6~14], 前人对玉米密度与氮肥和产量的关系研究较多^[15~19], 而对密度与氮肥耦合和玉米群体生理指标的关系, 及二者对玉米群体生理指标的影响效应研究较少。

玉米是关中灌区主要的粮食和经济作物, 本研究即是探讨在关中灌区的生态环境中, 密度与氮肥耦合与夏玉米群体光合生理指标的关系及其影响效应, 对玉米的栽培生理研究和关中灌区的玉米生产实践具有一定的理论价值和指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2005 年 6 月至 10 月进行, 试验地选在可代表关中灌区生态条件的陕西省杨凌农业高新技术产业示范区 (34°21'N, 108°10'E) 实施, 位于关中灌区的中心地带, 海拔高度 458 m, 试验区玉米生长季节气候状况与关中灌区历年平均气候条件基本一致。试验田选用土地平整, 肥力均匀的地块, 前茬为小麦、地力均匀, 0~30 cm 耕层土壤 pH 值 7.8, 土壤基础肥力有机质 19.88 g/kg, 全氮 (N) 1.09 g/kg, 全磷 (P₂O₅) 0.80 g/kg, 全钾 (K₂O) 10.21 g/kg, 速效氮 9.20 mg/kg, 速效磷 15.85 mg/kg, 速效钾 128.56 mg/kg。

1.2 试验材料与试验设计

试验材料选用已在生产中推广种植的夏播玉米优良新品种陕单 8806, 为夏播中早熟玉米品种, 可代表关中灌区的常用夏播玉米品种; 氮肥选用陕西省渭河化肥厂生产的尿素, 含氮量 46.0%。在夏播条件下, 以密度和氮肥两个因素作试验因子, 采用二因素二次饱和 D 最优设计。试验因子的零水平及变化间距见表 1, 两个试验因子的编码值及田间实施量见表 2, 共 6 个处理, 随机排列, 重复 4 次, 其中 2 个重复供取样测定用, 小区面积 28.0 m²。试验播种密度采用人工带尺 (控制播种密度) 开沟点播, 播深 4~7 cm, 氮肥的施用按照基肥: 追肥为 2:3 的比例进行, 将 40% 的氮肥于各试验处理玉米 3 叶展期作为基肥开沟施入, 60% 的氮肥于各试验

处理玉米 7 叶展期作为追肥在另一侧开沟施入,试验的实施严格按照试验方案要求操作。

表 1 试验因子的零水平及变化间距

Table 1 Zero level and change space of experiment factor

项 目 Items	x_1 (密度) Density (plants/hm ²)	x_2 N 素 Nitrogen (kg/hm ²)
零水平 Zero level(x_{0j})	60000	300
变化间距 Change space(Δ_{0j})	15000	300

表 2 试验因素的码值方案与田间实施方案

Table 2 Field experimental design scheme and coding project of experiment factors

试验处理号 Code of treatment	码值方案 Coding project		田间实施量 Field experimental design scheme	
	x_1 密度 Density	x_2 氮素 Nitrogen	x_1 密度 Density (plants/hm ²)	x_2 氮素 Nitrogen (kg/hm ²)
1	-1	-1	45000	0
2	1	-1	75000	0
3	-1	1	45000	600
4	-0.1315	-0.1315	58028	260.55
5	1	0.3945	75000	418.35
6	0.3945	1	65918	600

1.3 试验调查测定项目与方法

通过观察记载各试验处理玉米的生育期。玉米植株的第 3 片叶片完全展开,露出叶鞘,叶片与叶鞘可清晰分界,即为玉米 3 叶展,依此可观察记载玉米 7 叶展、13 叶展。玉米的雌穗花丝抽出苞叶 1cm 左右即为吐丝期。各试验处理玉米 3 叶展、7 叶展、13 叶展、吐丝期、吐丝 25d 及收获期分别取样 10 株进行群体生理指标的测定计算。测量全株每片叶片的叶长(L),以叶片最宽处的宽度作为叶宽(W),相关群体光合生理指标的计算方法^[20,21],单株叶面积(LA) = $\sum (L \times W \times 0.75)$,叶面积指数(LAI) = 单株叶面积 $\times$ 单位土地面积内株数 / 单位土地面积,叶片光合势(LAD) = $0.5 \times (LA_2 + LA_1) \times (T_2 - T_1)$ 。将玉米植株按各器官分解,于干燥箱 105℃ 条件下杀青 30min 之后,80℃ 烘干至恒重,测定干物质积累量并计算群体净同化率和作物生长率。群体净同化率(NAR) = $(W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \times (\ln LA_2 - \ln LA_1) / (LA_2 - LA_1)$,作物生长率(CGR) = $(W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$,上式中 LA_1 、 LA_2 分别为 T_1 、 T_2 时间的叶面积, W_1 、 W_2 分别为 T_1 、 T_2 时间的干物质积累量。于收获期调查测定生物学产量和籽粒产量等。

1.4 试验数据统计分析

试验数据统计采用西北农林科技大学毛建昌研究员研制的 LNT 农业试验统计软件包进行^[21]。

2 结果与分析

大田玉米籽粒产量的形成,是其群体生理指标综合影响的结果^[6~12]。试验结果的玉米籽粒产量(Y_1)、总干物质积累量(DMA)(Y_2)、吐丝期叶面积指数($MLAI$)(Y_3)、群体总光合势(LAD)(Y_4)、全生育期平均叶片净同化率(NAR)(Y_5)及全生育期平均作物生长率(CGR)(Y_6)列于表 3。对各群体生理指标与两个试验因素密度(x_1)和氮素施用量(x_2)进行回归模拟,建立的数学模型列于表 4。各群体生理指标在两个试验因子不同取值水平处的数值列于表 5。

2.1 密度、氮素施用量与玉米籽粒产量的关系

由表 4 可见,试验两因素密度和氮素与玉米籽粒产量的回归方程的 F 值大于 $F_{0.01}$,表明所建立的回归模型的精度较高,与实际状况模拟较好,可用于理论分析。在回归模拟计算过程中应用的是无量纲线性编码代换,所求得的偏回归系数已标准化,故其绝对值大小可直接反映各变量对因变量的影响程度。由回归方程的一次项偏回归系数可知,密度、氮素施用量与籽粒产量均为正相关,结合表 5 中两试验因素(自变量)在不同

取值水平的籽粒产量(因变量)可见,在两试验因素的一定范围内(x_1 码值: $-1 \sim 1$ 、 x_2 码值: $-1 \sim 1$),随着密度、氮素用量的增大,玉米籽粒产量随之增高,即密度、氮素施用量与籽粒产量均为正相关。不同密度水平的玉米籽粒产量变异系数为 22.94%,不同氮素施用量的玉米籽粒产量变异系数仅为 5.72%,可见,密度对玉米籽粒产量的影响程度远大于氮肥,在关中灌区生态环境中,玉米籽粒产量的高低对密度较为敏感,生产中首先尤其要注意合理密植。

表 3 玉米籽粒产量及群体生理指标的试验结果

Table 3 The result of grain yields and population physiological indexes of maize						
试验处理号 Code of treatment	Y_1 (籽粒产量) Grain yields (kg/hm ²)	Y_2 (DMA) (kg/hm ²)	Y_3 (MLAI)	Y_4 (LAD) (万 m ² ·d/hm ²)	Y_5 (NAR) (g/(m ² ·d))	Y_6 (CGR) (kg/(hm ² ·d))
1	6129.61	11985.75	3.1767	219.53	7.24	161.46
2	9920.55	17425.50	4.8514	339.82	7.97	237.71
3	6505.99	13266.90	3.1240	213.61	8.67	194.89
4	6777.52	13476.31	4.2301	267.27	7.98	184.97
5	11289.84	19589.25	4.7414	340.35	7.72	254.51
6	8711.46	18575.42	4.3818	289.83	8.61	229.59

表 4 玉米籽粒产量及群体生理指标与试验因素的回归方程

Table 4 Regression equation among experiment factors and grain yields and population physiological indexes of maize		
因素 Factor	回归方程 Regression equation	F 值 F value
Y_1, x_1x_2	$Y_1 = 7109.687 + 2233.67x_1 + 526.393x_2 + 1635.548x_1^2 - 193.769x_2^2 + 338.203x_1x_2$	477.1984 **
Y_2, x_1x_2	$Y_2 = 14082.89 + 3533.906x_1 + 1454.608x_2 + 893.785x_1^2 + 1184.15x_2^2 + 814.033x_1x_2$	78.409 **
Y_3, x_1x_2	$Y_3 = 4.3296 + 0.78x_1 - 0.84x_2 - 0.296x_1^2 - 0.103x_2^2 - 0.057x_1x_2$	167.1793 **
Y_4, x_1x_2	$Y_4 = 274.6927 + 59.873x_1 - 3.232x_2 + 8.165x_1^2 - 6.414x_2^2 - 0.272x_1x_2$	1326.107 **
Y_5, x_1x_2	$Y_5 = 8.0409 + 0.031x_1 + 0.381x_2 - 0.429x_1^2 + 0.374x_2^2 - 0.334x_1x_2$	144.3349 **
Y_6, x_1x_2	$Y_6 = 191.5565 + 37.263x_1 + 15.853x_2 + 19.021x_1^2 + 4.863x_2^2 - 0.862x_1x_2$	73.3019 **

表 5 试验两因素不同水平的籽粒产量及群体生理指标数值

Table 5 The result of grain yields and population physiological indexes of maize at the different level								
试验因素 Experiment factors	密度 Density x_1							
	-1	-0.1315	0	0.3945	1	$\bar{x}$	S	CV%
籽粒产量 Grain yields (kg/hm ²)	6511.57	6844.24	7109.69	8245.41	10978.91	7937.96	1820.63	22.94
总干物质积累量 DMA (kg/hm ²)	11442.17	13633.04	14082.29	15615.52	18509.98	14656.60	2620.98	17.88
吐丝期叶面积指数 MLAI	3.2536	4.2216	4.3296	4.5916	4.8136	4.2420	0.5987	14.11
总光合势 LAD (×10 ⁴ m ² ·d/hm ²)	222.98	266.96	274.69	299.58	342.73	281.39	44.04	15.65
净同化率 NAR (g/(m ² ·d))	7.58	8.03	8.04	7.99	7.64	7.86	0.23	2.93
作物生长率 CGR (kg/(hm ² ·d))	173.31	186.99	191.56	209.22	247.84	201.78	28.77	14.26
平均 Average								14.63
试验因素 Experiment factors	氮素 Nitrogen x_2							
	-1	-0.1315	0	0.3945	1	$\bar{x}$	S	CV%
籽粒产量 Grain yields (kg/hm ²)	6389.53	7037.12	7109.69	7287.19	7442.31	7053.17	403.13	5.72
总干物质积累量 DMA (kg/hm ²)	13811.83	13911.49	14082.29	14840.42	16721.05	14673.42	1213.77	8.27
吐丝期叶面积指数 MLAI	4.3106	4.3386	4.3296	4.2806	4.1426	4.2804	0.0802	1.87
总光合势 LAD (×10 ⁴ m ² ·d/hm ²)	271.51	275.07	274.69	272.42	265.05	271.75	4.03	1.48
净同化率 NAR (g/(m ² ·d))	8.03	7.99	8.04	8.25	8.80	8.22	0.34	4.14
作物生长率 CGR (kg/(hm ² ·d))	180.56	189.56	191.56	198.57	212.27	194.50	11.83	6.08
平均 Average								4.59

2.2 密度、氮素施用量与玉米干物质积累量的关系

由表 4 可看出,试验两因素密度与氮素施用量对玉米总干物质积累量(*DMA*)回归方程的 F 值大于 $F_{0.01}$,表明回归模型的精度较高,可用于理论分析。由回归方程可知,密度和氮素用量与 *DMA* 均为正相关。*DMA* 是玉米籽粒产量形成的物质基础,籽粒产量与 *DMA* 密切相关^[7,8,11,12],因此,二者与密度和氮素的关系极为相似。不同密度水平的 *DMA* 变异系数为 17.88%,不同氮素用量的 *DMA* 变异系数为 8.27%,同样表明,密度对玉米总干物质积累量的影响效应大于氮肥。

2.3 密度、氮素施用量与玉米群体光合生理指标的关系

2.3.1 密度

密度和氮肥两试验因素与玉米 *MLAI*、*LAD*、*NAR*、*CGR* 分别建立回归方程(表 4),由回归模型的 F 值可知,各回归模型的精度均较高,可用于理论分析。由表 4 的回归方程及表 5 可见,在试验密度范围内,密度与 *MLAI*、*LAD*、*CGR* 为正相关,在一定的密度范围内(x_1 码值: $-1 \sim 0$),密度与玉米 *NAR* 表现为正相关,而在 x_1 码值: $0 \sim -1$ 的范围内,密度与玉米 *NAR* 为负相关。在试验密度范围内,陕单 8806 玉米 *MLAI*、*LAD*、*CGR* 随密度的增大而增大,在高密度的群体压力下,*MLAI*、*LAD*、*CGR* 仍保持着较高的水平,表明陕单 8806 玉米的耐密性较好^[2,11]。而密度在 x_1 码值: $0 \sim -1$ 的范围内,玉米 *NAR* 随密度的增大而降低,*NAR* 的降低表明,随着密度的增大玉米叶片进行光合作用合成光合产物的能力在逐渐下降,陕单 8806 玉米的耐密性虽较好,但也应有合理的种植密度。在 *MLAI*、*LAD*、*CGR* 保持较高水平的同时,*NAR* 也不至于很低,这就要求有个平衡点即合理的种植密度, $LAI \times NAR$ 达最大值则表明该密度为适宜密度^[7,8],从而表明,陕单 8806 玉米耐密性虽较好,也应合理密植。

由表 5 不同密度的群体生理指标的变异系数可见,密度对玉米 *MLAI*、*LAD*、*CGR* 影响较大,对 *NAR* 影响较小。

2.3.2 氮素施用量

由表 4 的回归方程结合表 5 可知,氮素施用量与 *MLAI*、*LAD* 为负相关,在一定的氮素用量范围内(x_2 码值: $-1 \sim -0.1315$),玉米 *MLAI*、*LAD* 随氮素用量的增大而增大,而在氮素用量 x_2 码值: $-0.1315 \sim 1$ 范围内,二者随氮素用量的增大而减小。在一定的氮素用量范围内(x_2 码值: $-1 \sim -0.1315$),玉米 *NAR* 随氮素用量的增大而减小,而在氮素用量 x_2 码值: $-0.1315 \sim 1$ 范围内,*NAR* 随氮素用量的增大而增大。在试验的氮素施用量范围内,玉米 *CGR* 与氮素用量为正相关,*CGR* 随氮素用量的增大表现为增大。即在氮素用量 x_2 码值: $-0.1315 \sim 1$ 范围内,*MLAI* 与 *LAD* 随氮素用量的增大而减小,表现为负相关,而在此范围内,*NAR* 与 *CGR* 随氮素用量的增大而增大,表现为正相关。只有 $LAI \times NAR$ 达最大值可获得较高的玉米籽粒产量^[7,8],而在氮素用量为 x_2 码值: $-0.1315 \sim 1$ 范围内,氮素用量和 *MLAI*、*NAR* 的关系相反,若要使 $LAI \times NAR$ 达最大值就要求氮素的施用量要保证平衡,即合理施用氮肥。

由表 5 不同氮素施用量的群体生理指标的变异系数可见,氮素施用量对玉米 *CGR* 和 *NAR* 影响较大,对玉米 *MLAI* 和 *LAD* 影响较小。玉米籽粒产量、*DMA*、*MLAI*、*LAD*、*NAR*、*CGR* 在不同密度水平的变异系数为 2.93% ~ 22.94%,平均变异率 14.63%,各群体生理指标于不同氮素施用量的变异系数为 1.48% ~ 8.27%,平均变异率 4.59%,可见,密度对玉米籽粒产量及群体生理指标的影响效应大于氮肥。

2.4 玉米高产的密度与氮肥耦合技术优化方案

依据试验结果建立的数学模型,利用计算机进行模拟试验和筛选优化组合方案^[21,22]。以玉米籽粒产量 $\geq 8250 \text{ kg/hm}^2$ 为目标,筛选出密度与氮肥耦合的优化技术方案有 2 套(表 6),优化方案对应的技术参数,密度为 61713 ~ 66177 株/ hm^2 ,氮肥施用量应为 309.88 ~ 569.02 kg/hm^2 。

3 结论与讨论

密度与氮肥是影响作物生产的两个主要栽培因素,前人对此研究较多^[15~19],研究多针对密度与氮肥对作物产量的影响,对密度与氮肥和作物群体生理指标的关系及影响效应研究较少,而对密度和氮肥与玉米群体

光合生理指标的关系,及二者对玉米群体光合生理指标的影响效应研究甚少。

表 6 玉米密度与氮肥耦合的高产技术优化方案回归分析

Table 6 Regression analysis of optimal high yield technology design on planting density and nitrogen fertilization in maize

变 量 Variable	密度 Density(x_1)		氮素 Nitrogen(x_2)	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
- 1	0	0	0	0
-0.1315	0	0	0	0
0.3945	2	0.6667	1	0.3333
1	0	0	1	0.3333
合计 Total	2	0.6667	2	0.6667
x_i 平均值 x_i mean	0.2630		0.4648	
S_x 标准误 S_x standard error	0.0759		0.2204	
95% 置信域 95% confidence interval	0.1141937 ~ 0.4118063		0.0329285 ~ 0.8967382	
农艺措施 Agricultural measure	61712.9 ~ 66177.1 株/hm ²		309.88 ~ 569.02kg/hm ²	
	61712.9 ~ 66177.1 plants/hm ²			

作物的生产是一个种群的过程,而非个体表现^[3],研究玉米的生产应以群体的生长发育特征作为出发点,以作物群体质量为衡量指标^[6~14]。玉米为 C₄植物,是一种高光效、高产作物,其干物质的 90% 以上是由光合作用生产的^[1,2],因而,对玉米生产的研究应以玉米群体光合生理指标作为切入点。

研究探讨密度与氮肥耦合和玉米群体光合生理指标的关系及其影响效应,明确了在关中灌区生态环境中,在 45000 ~ 75000 株/ hm² 的密度范围内,密度与玉米籽粒产量、总干物质积累量、吐丝期叶面积指数、总光合势、平均作物生长率等群体生理指标为正相关。在 45000 ~ 60000 株/ hm² 的密度范围内,密度与玉米叶片平均净同化率为正相关,陕单 8806 玉米在此密度范围内叶片净同化率是随密度的增大而增大的,表明此密度范围对于陕单 8806 玉米是适宜的,在适宜密度范围内,随着群体的增大,也许是由于生长竞争的原因,提高了玉米叶片的光合效率。而在 60000 ~ 75000 株/ hm² 的密度范围内,密度与玉米叶片平均净同化率为负相关,在此密度范围内,陕单 8806 玉米叶片净同化率随密度的增大逐渐降低,表明在此密度范围内,密度的继续增大对于陕单 8806 玉米是不合适的;在氮素施用量 0 ~ 600.0 kg/hm² 的范围内,氮素施用量与玉米籽粒产量、总干物质积累量、平均作物生长率等群体生理指标为正相关,在氮素施用量 0 ~ 260.55 kg/hm² 的范围内,氮素施用量与玉米吐丝期叶面积指数、总光合势为正相关,与玉米叶片平均净同化率为负相关,也许是由于施氮较多使叶面积增加过快,出现了相互遮荫而降低了玉米叶片的光合效率。而在氮素施用量 260.55 ~ 600.0kg/hm² 的范围内,氮素施用量与玉米吐丝期叶面积指数、总光合势为负相关,与玉米叶片平均净同化率为正相关。也许是由于氮肥施用较多,使得玉米根系入土较浅,没有下扎土层较深部分,对土壤深层的水分吸收不到,因而玉米生长后期在缺少灌水的情况下,干旱使玉米的生长受到抑制,从而导致叶片早衰、叶面积快速下降,不利于其生长。由此也启示我们,在夏玉米苗期不能大量灌水和施肥,要科学合理灌水和施肥,或适当减少灌水和施肥,使其适当蹲苗,促使玉米根系尽量下扎土壤深层,有利于玉米对于土壤深层水肥的吸收利用及增强其抗倒伏性能。

密度对其影响较大的指标为:籽粒产量、总干物质积累量、总光合势、平均作物生长率、吐丝期叶面积指数,影响较小的指标为:玉米叶片平均净同化率;氮肥对其影响较大的指标为:总干物质积累量、平均作物生长率、籽粒产量、玉米叶片平均净同化率,影响较小的指标为:总光合势、吐丝期叶面积指数。对籽粒产量的形成和群体生理指标的综合影响效应,密度显著大于氮肥,玉米光合性能对密度的反应较敏感,这与刘开昌^[2] 的研究结果一致。密度直接且有效地改变了玉米生长的田间小气候,具体的说是密度直接且有效地改变了田间的光照、温度、通风状况等与玉米生长关系极为密切的气象条件,而氮肥对以上田间气象条件改变的能力极其有限,因而对于玉米籽粒产量的形成和群体生理指标的综合影响效应,表现为密度显著大于氮肥。玉米生产

中,尤其要重视合理密植,首先要确定合理的密度,在合理密植的基础上,再确定适宜的氮肥施用量。

良好的群体结构是玉米高产的根本,合理的密度是创建优良群体结构的基础。合理的密度可构建足够的、合理的叶面积指数,尤其是可构建吐丝期足够的、合理的叶面积指数,并由此形成足够的群体光合势,从而提高玉米叶片的光合生产能力(净同化率)和作物生长率,更为充分地利用光能,生产出较多的光合产物,在此,各群体生理指标是密切关联的,是相辅相成的。因而,良好的群体生理指标是对优良群体结构的具体表现。

试验结果表明,适宜的氮肥施用量可使玉米群体光合生理指标达到最佳状态。合理的密度是玉米利用具体生态环境中光热资源构建良好群体结构、优化群体光合生理指标的基础,而适宜的氮肥施用量是其利用适宜密度充分发挥群体优势进行光合生产的营养物质保障,在作物生产中,二者要高度协调。氮肥的施用不仅涉及到施用量的问题,而且还应注意恰当的施用时期,以及与水分的良好耦合^[16,23],才能使作物群体生理达到最佳状态,从而可获得较高的产量。通过在关中灌区生态环境中进行的夏播陕单 8806 玉米密度与氮肥耦合技术试验,以籽粒产量的提高为目标,对回归模型进行优化筛选,确定了陕单 8806 玉米在关中灌区夏播的合理密度为 61713 ~ 66177 株/hm²,适宜纯氮素施用量为 309.88 ~ 569.02 kg/hm²。

References:

- [1] Wang Q C, Liu K C, Zhang X Q, *et al.* Canopy photosynthesis of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Maize Sciences*, 2001, 9(4): 57—61.
- [2] Liu K C, Wang Q C, Zhang X Q, *et al.* Study on the relationship between photosynthetic capability and their density-tolerance of new corn hybrids. *Shandong Agricultural Sciences*, 2001, 6: 25—29.
- [3] Zhao S L, Li F M, Zhang D Y, *et al.* Crop production is a population process. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(1): 100—104.
- [4] Li C H, Su X H, Sun D L. Ecophysiological characterization of different maize (*Zea mays* L.) genotypes under mono-or inter-cropping conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2096—2103.
- [5] Li C H, Luan L M, Yin F, *et al.* Effects of light stress at different stages on the growth and yield of different maize genotypes (*Zea mays* L.). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 824—830.
- [6] Yao W S, Song L Q, Guo H M, *et al.* Physiological index of summer corn high-yield cultivation. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1999, 14(4): 55—59.
- [7] Guo B, Wang Y D. Study on high-yield colony structure of early-matured maize Xinyu No. 9. *Journal of Maize Sciences*, 2002, 10(Supplement): 73—76.
- [8] Tan Z S, Chen R L, Zhao B X, *et al.* A study on the population physiologic indexes of new maize cultivar Yuyu 27. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2003, 12(2): 31—35.
- [9] Ma G S, Xue J Q, Lu H D, *et al.* Photosynthetic and physiological characteristics of the populations of different types of silage maize. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(3): 536—540.
- [10] Lin J X, Chen S H, Lu H D, *et al.* Effect of cultivation by setting seedling on colony structure and photosynthetic rate in Corn. *Journal of Maize Sciences*, 2004, 12(2): 86—88.
- [11] Xue J Q, Liang Z S, Ma G S, *et al.* Population physiological indices on density-tolerance of maize in different plant type. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1): 55—59.
- [12] Xue J Q, Ma G S, Lu H D, *et al.* The regulation and control of density on relationship of sink-source and yield of different maize. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2001, 21(6): 1162—1168.
- [13] Zhao M, Li S K, Wang S A, *et al.* Cluster analysis for photosynthetic characters of inbred lines of maize in china. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 35(6): 733—741.
- [14] Qi Y f, Xu F Z, Zhou Z H, *et al.* Effect of plant density on photosynthesis capability of new maize hybrid Luyuan dan 22. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2004, 18(1): 14—17.
- [15] Shen L X, Wang P, Zhang R B. Effect of nitrogen supply on yield and grain rifling in summer maize with different crop density. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(3): 314—319.
- [16] Sun W T, Sun Z Y, Wang C X, *et al.* Coupling effect of water and fertilizer on corn yield under drip fertigation. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(3): 563—568.
- [17] Li M, Li W X. Regulation of fertilizer and density on sink and source traits and yield of maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(8): 1130

—1137.

- [18] He G S. Experiment on sowing time density and fertilizer amount of corn covering with plastic film in dry land. *Journal of Henan University of Science and Technology(Agricultural Science)*, 2004, 24(2): 10—12.
- [19] Zhou Y L, Chen H, Wang Z G, *et al.* Effects of planting density, sowing date and nitrogen fertilizer application on yield and quality of the hanyouxiangqing rice. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2003, 19(4): 28—32.
- [20] Ma G S, Xue J Q, Lu H D, *et al.* A study on the population physiological indices of different types of forage Zea mays. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(5): 70—75.
- [21] Xue J Q, Ma G S, Lu H D. Study on maize of Qinba maintain regions in Shaanxi Province. Xi'an: Shaanxi People Press, 2003.
- [22] Ruan P J, Ma J, Mei Y, *et al.* Effect of different density and N-application rate on maize quality. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004, 20(6): 147—149.
- [23] Zhai B N, Li S X. Effects of nitrogen nutrition on summer maize water use efficiency under different status of soil moisture. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(4): 473—480.

参考文献:

- [1] 王庆成, 刘开昌, 张秀清, 等. 玉米的群体光合作用. *玉米科学*, 2001, 9(4): 57~61.
- [2] 刘开昌, 王庆成, 张秀清, 等. 玉米光合性能与耐密性关系的研究. *山东农业科学*, 2001, 6: 25~29.
- [3] 赵松岭, 李凤民, 张大勇, 等. 作物生产是一个种群过程. *生态学报*, 1997, 17(1): 100~104.
- [4] 李潮海, 苏新宏, 孙敦立. 不同基因型玉米间作复合群体生态生理效应. *生态学报*, 2002, 22(12): 2096~2103.
- [5] 李潮海, 栾丽敏, 尹飞, 等. 弱光胁迫对不同基因型玉米生长发育和产量的影响. *生态学报*, 2005, 25(4): 824~830.
- [6] 姚万山, 宋连启, 郭宏敏, 等. 夏玉米高产群体生理动态质量指标的研究. *华北农学报*, 1999, 14(4): 55~59.
- [7] 郭斌, 王友德. 早熟玉米新玉9号高产群体结构的研究. *玉米科学*, 2002, 10(增刊): 73~76.
- [8] 檀尊社, 陈润玲, 赵保献, 等. 玉米新品种豫玉27群体生理的研究. *西北农业学报*, 2003, 12(2): 31~35.
- [9] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 不同类型饲用玉米群体光合生理特性的研究. *西北植物学报*, 2005, 25(3): 536~540.
- [10] 林建新, 陈山虎, 卢和顶, 等. 玉米育苗移栽对群体特征及光合特性的影响. *玉米科学*, 2004, 12(2): 86~88.
- [11] 薛吉全, 梁宗锁, 马国胜, 等. 玉米不同株型耐密性的群体生理指标研究. *应用生态学报*, 2002, 13(1): 55~59.
- [12] 薛吉全, 马国胜, 路海东, 等. 密度对不同类型玉米源库关系及产量的调控. *西北植物学报*, 2001, 21(6): 1162~1168.
- [13] 赵明, 李少昆, 王树安, 等. 我国常用玉米自交系光合特性的聚类分析. *作物学报*, 1999, 35(6): 733~741.
- [14] 齐延芳, 许方佐, 周柱华, 等. 种植密度对玉米鲁原单22光合作用的影响. *核农学报*, 2004, 18(1): 14~17.
- [15] 申丽霞, 王璞, 张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 314~319.
- [16] 孙文涛, 孙占祥, 王聪翔, 等. 滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究. *中国农业科学*, 2006, 39(3): 563~568.
- [17] 李明, 李文雄. 肥料和密度对寒地高产玉米源库性状及产量的调节作用. *中国农业科学*, 2004, 37(8): 1130~1137.
- [18] 何高社. 旱地膜玉米播期密度施肥量试验. *河南科技大学学报(农学版)*, 2004, 24(2): 10~12.
- [19] 周永良, 陈虹, 汪祖国, 等. 密度、播期、氮肥运筹对寒优湘晴产量和品质的影响. *上海农业学报*, 2003, 19(4): 28~32.
- [20] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 不同类型饲用玉米品种群体生理指标的研究. *草业学报*, 2006, 15(5): 70~75.
- [21] 薛吉全, 马国胜, 路海东. 秦巴山地玉米研究. 西安: 陕西人民出版社, 2003.
- [22] 阮培均, 马俊, 梅艳, 等. 不同密度与施氮量对玉米品质的影响. *中国农学通报*, 2004, 20(6): 147~149.
- [23] 翟丙年, 李生秀. 不同水分状况下施氮对夏玉米水分利用效率的影响. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(4): 473~480.