

文章编号: 1005-0906(2014)06-0084-07

种植方式和密度对寒地高产玉米品种产量及光合物质生产特性的影响

付 健, 杨克军, 王玉凤, 张翼飞, 王智慧, 赵 莹,
谷英楠, 杨系玲, 刘慧迪, 张发明

(黑龙江八一农垦大学农学院/寒地作物种质改良与栽培重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 采用玉米品种郑单958, 基于不同种植密度, 比较研究65 cm传统小垄(一穴单株, A; 一穴双株紧靠, B)及110 cm大垄双行(一行为一穴单株、一行为一穴双株紧靠, C; 两行均为一穴双株紧靠, D; 两行均为一穴单株, E)不同种植方式下, 玉米的产量构成因素、光合物质生产分配和光合性能指标动态变化及差异。结果表明, 不同种植方式和密度对玉米产量影响显著, 种植方式和密度交互作用达到极显著水平。种植方式C和E产量优势得益于较高穗粒数、千粒重和穗数的相互补偿作用; 种植方式C和E在吐丝后干物质积累及其向子粒的分配比例较高, 吐丝后能维持较高的叶面积指数、光合势、光合速率、叶绿素含量。

关键词: 玉米; 种植密度; 种植方式; 干物质积累与分配; 光合特性

中图分类号: S513.048

文献标识码: A

Effects of Plant Arrangement Patterns and Planting Density on Grain Yield and Photosynthesis Production Characteristics of High-yielding Maize Variety in Cold Region

FU Jian, YANG Ke-jun, WANG Yu-feng, ZHANG Yi-fei, WANG Zhi-hui, ZHAO Ying,

GU Ying-nan, YANG Xi-ling, LIU Hui-di, ZHANG Fa-ming

(School of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University /

Key Laboratory of Crop Germplasm Improvement and Cultivation in Cold Region, Daqing 163319, China)

Abstract: A field experiment was conducted to evaluate five possible plant arrangement patterns – 65 cm narrow ridge with one plant in each point(A), 65 cm narrow ridge with two plants in each point(B), 110 cm width ridge with one plant in each point for one line and two plants in each point for other line(C), two lines at 110 cm width ridge with two plants in each point(D), and two lines at 110 cm width ridge with one plant in each point(E) under four planting density – in terms of grain yield and photosynthesis production characteristics in high-yielding maize variety Zhengdan 958. The yield components, photosynthetic production distribution and leaf photosynthetic characteristics of maize crops were monitored and compared. The results showed that different ways of planting and density has significant effects on maize yield and planting way and the density interaction to achieve significant level, the output of planting form C and E advantage thanks to spike, grains and grain number of spikelets of mutual compensation. Dry matter accumulation after silking and the proportion of it be transported to grain were also higher under plant arrangement C and E than other treatments. LAI, LAD, *P_n* and chlorophyll content fall slowly after silking, which were very important to the high-yield formation.

Key words: Maize; Planting density; Plant arrangement pattern; Dry matter accumulation and transportation; Photosynthetic characteristic

收稿日期: 2013-12-29

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题(2011BAD16B11-03)、国家科技计划课题(2013BAD07B01)、黑龙江省农垦总局重点课题(HNK125TG-13)、农垦总局重点科技示范推广(HNK125TG-05)、学成、引进人才科研启动计划(XDB2011-16)

作者简介: 付 健(1988-), 男, 黑龙江大庆人, 博士, 研究方向为玉米高产理论与技术。E-mail: fujian_hl@163.com

杨克军为本文通讯作者。E-mail: byndykj@163.com

玉米是黑龙江省第一大作物^[1]。不断探索优化寒地玉米高产栽培技术措施,创新寒地玉米高效种植技术模式,对促进寒地农业增产和农民增收具有重要意义。玉米的产量受环境因素及栽培方式等影响很大,玉米品种的高产潜力与群体光合强度和光合产物分配关系密切^[2~6]。因此,通过优化栽培方式和种植密度,改善玉米群体冠层的通风透光性,提高作物群体的光合作用效率和物质生产能力,是最终实现玉米增产的有效途径^[7]。

近年来,一穴双株的播种方式在大豆、棉花和油菜^[8~10]等作物上均有一定的应用,增产效果显著。目前在我国东北寒冷地区特别是黑龙江省的玉米种植上应用较少,且缺乏有针对性的系统研究。本研究基于110 cm大垄密植和65 cm小垄栽培两种不同栽培模式,设置高、中、低不同的种植密度,分别采用一穴双株紧靠和一穴单株等距的种植方式,比较分析不同种植方式和密度下玉米物质生产分配及各项产量性能指标的差异,并结合叶面积指数、光合势、光合速率以及叶绿素含量等光合性能指标的动态变化,阐明不同种植方式和密度栽培技术措施下,不同产量水平玉米光合物质生产的变化特点和规律,为东北寒地耐密高产玉米品种选育、产量潜力的挖掘提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验品种

试验于2013年在黑龙江八一农垦大学试验实习基地(46°37' N, 125°11' E, 海拔150 m)进行。试验田土壤类型为草甸黑钙土,耕层(0~20 cm)土壤有机质 16.14 g/kg, 碱解氮 353.06 mg/kg, 速效磷 7.32 mg/kg, 速效钾 30 mg/kg, pH值 8.38。供试玉米品种为当地主栽且具高产潜力的品种郑单958(紧凑型)。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,以种植方式为主区,分别设置65 cm小垄(一穴单株A;一穴双株B)和110 cm大垄双行(一行为一穴单株、一行为一穴双株C;两行均一穴双株D;两行均一穴单株E)5种处理(图1);以种植密度为副区,设6.0万(M1)、7.5万(M2)、9.0万(M3)和10.5万株/hm²(M4)4个种植密度水平。不同种植方式和密度处理组合,均4次重复,共80个小区,试验小区为6行区,行长30 m。底肥施尿素 247.5 kg/hm², 磷酸二铵 247.5 kg/hm², 硫酸钾 74.25 kg/hm²,在玉米拔节期结合中耕培垄追施尿素 250 kg/hm²,除种植方式和密度外,其他田间管理均同当地大田生产。

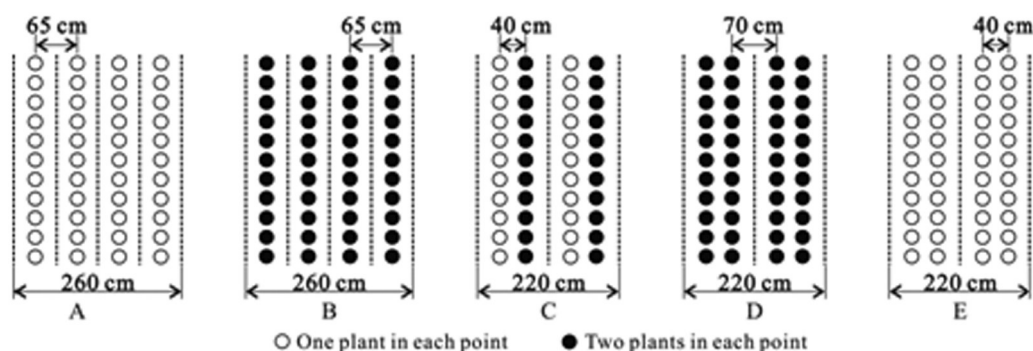


图1 田间种植方式示意图

Fig.1 Plant arrangement patterns in experiment plots

1.3 测定项目与方法

在拔节期、大喇叭口期、吐丝后5 d、吐丝后20 d、吐丝后40 d和完熟期在各处理小区取3个点,每个点取长势一致的植株3株,测定绿叶面积,单叶面积=长×宽×0.75(式中0.75为校正系数)。叶面积指数(LAI)=单株叶面积×单位土地面积内的株数/单位土地面积。光合势(LAD)=[(L₁+L₂)/2]×(t₂-t₁), L₂、L₁分别为t₂、t₁时间的叶面积。

分别在拔节期、大喇叭口期、吐丝后5 d、吐丝后20 d、吐丝后40 d和完熟期,利用Li-6400便携式光

合作用测定系统(Li-Cor, USA),设定人工光源光强为800 μmol/(m²·s),晴天于9:30至12:00之间统一在各小区的中间条带,选取3株生育进程一致、照光均匀的健康植株穗位叶,循环测定光合速率(P_n)。同时在所测叶片主脉两侧打孔取10枚小圆片,参照张宪政^[11]的方法测定叶片叶绿素含量。

各时期测定完叶面积后,每小区选择5株长势均匀的植株,取回实验室后,按茎、叶、苞叶、穗、穗轴分别在105℃下杀青0.5 h,80℃下烘至恒重后称量,获得干物质量。成熟期每小区实收考种并测产(按

照子粒含水率14%折算产量)。

1.4 数据分析

采用SPSS 21.0对测定的数据进行统计分析 & 差异显著性分析;用Excel 2003 进行处理数据 和作图。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式和密度下玉米产量及其构成因素

由表1可知,种植方式和密度对玉米产量有显

著影响。种植方式E产量最高,其次是种植方式C。从种植密度对产量的影响可以看出,M3密度下产量最高,分别高出M1、M4处理2.83%和5.56%,且差异显著;与M2处理间差异不显著。对于郑单958这种典型的耐密植型品种,种植方式E和C产量优势主要得益于较高的穗粒数和千粒重。较高种植密度(M3)下高产源于较高的穗数,当密度达到M4时,产量开始下降。种植方式和密度之间存在极显著的互作效应($P<0.001$)。

表1 种植密度和方式对玉米产量和产量构成因素的影响

Table 1 Effect of planting density and plant arrangement patterns on grain yield and yield components of maize

试验因素		产量(kg/hm ²)	行粒数(粒)	穗行数(行)	穗粒数(粒)	千粒重(g)	穗数(穗/hm ²)
Experimental factor		Yield	Kernels per line	Lines per ear	Kernels per ear	1000-kernel weight	Ear number
种植方式	A	11 580 b	34.63 c	13.30 e	460.58 d	425.07 c	71 400 a
	B	10 460 c	32.18 d	13.85 d	445.69 d	405.49 d	69 900 a
	C	13 220 a	36.08 a	15.24 b	549.86 b	459.35 a	71 300 a
	D	11 530 b	34.97 c	14.38 c	502.86 c	413.82 bc	71 700 a
	E	13 510 a	36.52 a	15.67 a	572.27 a	460.05 a	71 200 a
种植密度	M1	12 000 b	43.56 a	14.06 a	612.45 a	421.02 a	58 900 d
	M2	12 200 ab	39.21 b	13.44 b	526.98 b	392.31 c	73 500 c
	M3	12 340 a	33.19 c	12.96 c	430.14 c	404.33 b	88 700 b
	M4	11 690 c	32.55 d	12.89 d	419.57 d	393.36 bc	103 300 a
均 方	种植方式 Pattern(df=4)	19.594***	128.541***	20.920***	100 584.771***	7 982.114***	0.138
Mean square	密度 Density(df=3)	1.195**	427.104***	11.561***	158 469.164***	2 067.675***	55.060***
	种植方式×密度	4.131***	18.833***	1.113***	5 013.588***	1 158.723***	0.232
	Patterns×Density (df=12)						

注:同列不同字母表示达到0.05显著水平。*、**和***分别表示0.05、0.01和0.001显著水平。下表同。

Note: Letters indicated statistical significance at 0.05 level within the same column. *, ** and *** represented significance at 0.05, 0.01 and 0.001 probability level, respectively. The same below.

2.2 不同种植方式和密度下玉米干物质积累与分配

不同种植方式和密度对全生育期玉米地上部干物质积累总量、吐丝后干物质质量积累及子粒转运的影响均达极显著水平,整体表现为处理E>C>D>A>B,密度M4>M3>M2>M1(表2)。相关性分析表明,吐丝后干物质生产、茎鞘干物质转运量和收获指数与玉米子粒产量表现为显著的正相关($r=0.891\ 6^{**}$, $r=0.813\ 5^{**}$, $r=0.706\ 3^{*}$)。

从成熟期各器官所分配的干物质来看(图2),不同密度条件下,种植方式A、D和E叶片干重所占比例显著低于种植方式B和C($P<0.05$);种植方式C、D和E茎鞘干重所占比例显著高于种植方式A和B,种植方式C和E苞叶和穗轴干重所占比例也显著低于其他种植方式。相关分析表明,除苞叶和穗轴干重与子粒产量表现出显著的负相关($r=-0.866\ 3^{**}$)

外,其他部位器官干重与子粒产量间关系不显著。因此,针对密植型品种,种植方式A、B和D以及较低的种植密度(M1和M2)不仅光合生产总量较低,同时限于其较低的茎鞘干物质转运量、收获指数及较高的苞叶和穗轴干重,导致其最终难于形成高产。

2.3 不同种植方式和密度下玉米叶面积指数(LAI)的变化

从表3可见,玉米LAI随着生育进程的推进,呈先上升后降低的趋势,在吐丝后5 d时到达峰值。种植方式E在各生育时期内的LAI均显著高于其他种植方式($P<0.05$),其次为种植方式A和C,种植方式B在整个生育期内LAI均较低,源不足限制了种植方式B产量的形成。不同种植密度下,玉米LAI随密度的升高显著增大,总体趋势为密度M4>M3>M2>M1。全生育期内,种植方式和密度对玉米叶面积指数均表现为极显著的互作效应($P<0.001$)。

表2 种植密度和方式对玉米干物质积累与分配的影响

Table 2 Effect of planting density and plant arrangement patterns on dry matter accumulation and transportation of maize

试验因素 Experimental factor		总干重 (kg/hm ²) Total dry matter	吐丝后干重 (kg/hm ²) Dry matter after silking	占总干重比例 (%) Ratio to total dry matter	叶片干物质 转运量(kg/hm ²) Leaf dry matter transportation	茎鞘干物质 转运量(kg/hm ²) Stem dry matter transportation	收获指数 Harvest index
种植方式 Planting pattern	A	23 900 d	12 600 d	52.87 e	800 c	700 c	0.41 b
	B	19 500 e	10 600 e	54.50 d	900 c	400 d	0.40 c
	C	27 900 b	15 600 b	56.31 c	2 100 b	800 c	0.44 a
	D	25 600 c	14 700 c	58.06 b	1 800 b	1 200 b	0.42 b
	E	30 700 a	18 300 a	59.76 a	2 400 a	1 000 a	0.44 a
种植密度 Planting density	M1	20 600 d	11 900 d	57.36 a	1 200 c	800 b	0.42 b
	M2	23 800 c	13 900 c	58.32 a	1 000 c	900 ab	0.40 c
	M3	27 300 b	15 100 b	55.23 b	2 400 a	900 b	0.44 a
	M4	30 300 a	16 500 a	54.29 b	1 700 b	1 200 a	0.44 a
均 方	种植方式 Pattern (df=4)	2.130***	1.028***	0.009***	0.065***	0.023***	0.003***
Mean square	密度 Density (df=3)	2.645***	0.580***	0.005***	0.062***	0.004*	0.005***
	种植方式×密度 Patterns×Density(df=12)	0.226***	0.054***	0.001***	0.012***	0.011***	0.001

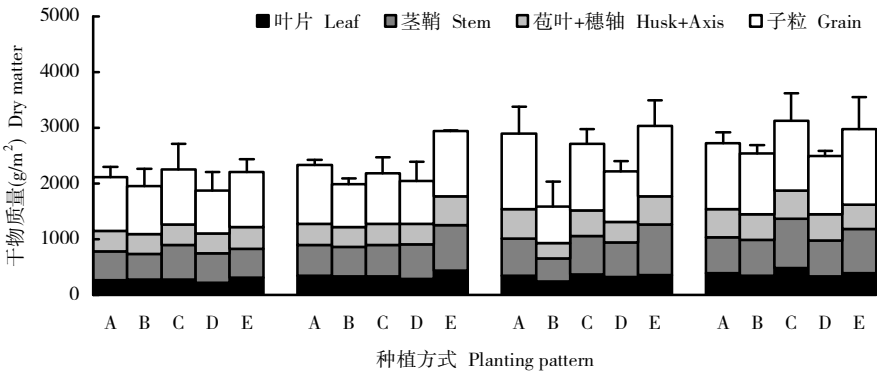


图2 不同种植密度和方式下干物质在叶片、茎鞘、苞叶+穗轴和子粒中的分配情况

Fig.2 Dry matter distribution in leaf, stem, husk+axis and grain under different planting density and plant arrangement patterns

表3 种植密度和方式对玉米叶面积指数的影响

Table 3 Effect of planting density and plant arrangement patterns on leaf area index(LAI) of maize

试验因素 Experimental factor		拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Big trumpet period	吐丝后 5 d 5 d after silking	吐丝后 20 d 20 d after silking	吐丝后 40 d 40 d after silking	完熟期 Full maturity period
种植方式 Planting pattern	A	1.36 c	4.31 b	6.18 b	5.74 b	5.24 b	4.12 c
	B	0.71 d	3.00 c	5.01 d	4.75 e	4.27 e	3.51 e
	C	1.69 b	4.30 b	5.63 c	5.28 c	4.94 c	4.44 b
	D	1.41 c	4.41 b	5.61 c	5.01 d	4.64 d	3.73 d
	E	1.80 a	5.14 a	6.56 a	6.30 a	5.97 a	5.26 a
种植密度 Planting density	M1	1.03 d	3.24 d	4.44 d	3.96 d	3.77 d	3.35 d
	M2	1.26 c	3.68 c	5.09 c	4.70 c	4.41 c	3.82 c
	M3	1.45 b	4.56 b	6.35 b	5.99 b	5.43 b	4.71 b
	M4	1..85 a	5.45 a	7.32 a	7.03 a	6.44 a	4.97 a
均 方	种植方式 Pattern (df=4)	2.141***	7.115***	4.273***	4.523***	4.992***	5.679***
Mean square	密度 Density (df=3)	1.781***	14.340***	24.735***	27.862***	20.590***	8.678***
	种植方式×密度 Patterns×Density (df=12)	0.366***	0.549***	1.119***	0.850***	0.917***	0.555***

2.4 不同种植方式和密度下玉米光合势(LAD)的变化

由表4可知,不同种植方式和密度及其互作,吐丝前、吐丝后和总的LAD均表现为极显著的影响($P<0.001$);吐丝后LAD占全生育期的比例,仅种植方式对其表现出极显著的影响。尽管种植方式B吐

丝后的LAD占全生育期LAD的百分比显著高于其他种植方式($P<0.05$),但其吐丝前、吐丝后及总的LAD均较低;种植方式E吐丝前、吐丝后及总的LAD都表现出较大的优势,且显著高于其他种植方式。同时,随种植密度的不断提高,玉米吐丝前、吐丝后及总的LAD不断增加,与产量水平保持一致。

表4 种植密度和方式对玉米光合势的影响
Table 4 Effect of planting density and plant arrangement patterns on LAD of maize (10⁴ m²·d)/hm²

试验因素 Experimental factor		吐丝前LAD LAD before silking	吐丝后LAD LAD post silking	总光合势 Total LAD	吐丝后LAD占全生育期 LAD的百分比(%) Percentage of LAD post silking within total LAD
种植方式 Planting pattern	A	114.23 b	227.30 b	341.53 b	66.6 b
	B	81.72 c	183.49 d	265.21 d	69.1 a
	C	111.17 b	207.33 c	318.50 c	65.1 c
	D	110.74 b	197.19 cd	307.93 c	63.8 d
	E	130.38 a	250.81 a	381.18 a	65.8 bc
种植密度 Planting density	M1	85.53 d	161.75 d	247.28 d	65.4 b
	M2	96.87 c	191.04 c	287.90 c	66.1 ab
	M3	120.36 b	232.41 b	352.78 b	66.3 ab
	M4	135.82 a	267.70 a	403.52 a	66.5 a
均方 Mean square	种植方式 Pattern (df=4)	3 702.97***	8 359.27***	21 947.42***	0.005***
	密度 Density (df=3)	7 722.82***	32 391.09***	71 676.68***	0.001
	种植方式×密度	789.90***	3 049.341***	6 864.36***	9.659
	Patterns×Density (df=12)				

2.5 不同种植方式和密度下玉米净光合速率(Pn)的变化

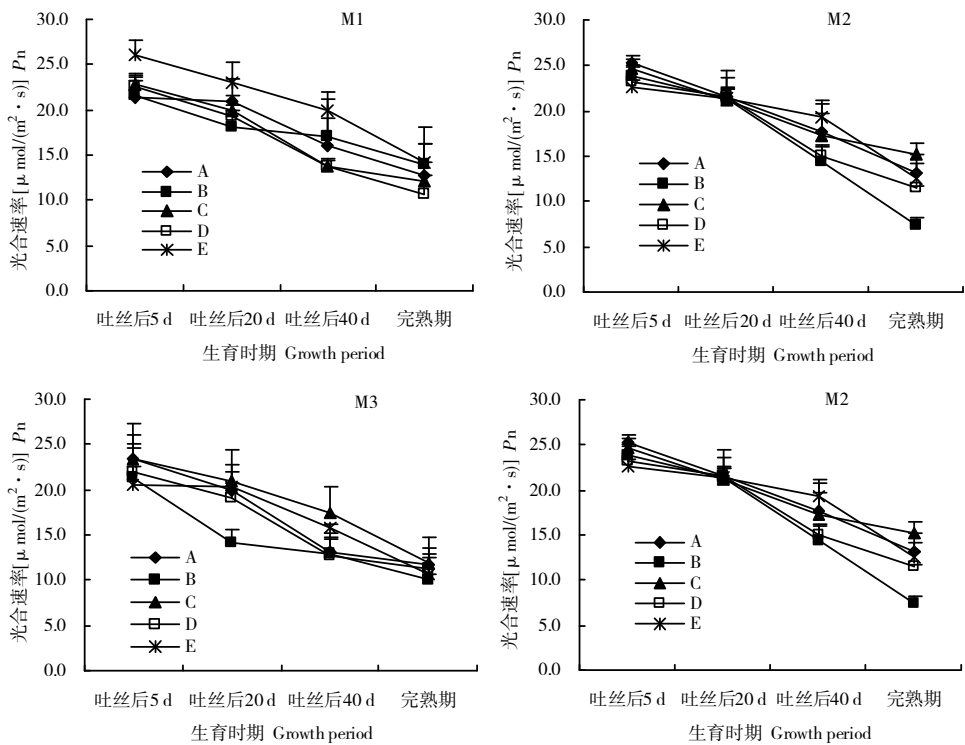


图3 不同种植方式和密度下玉米叶片光合速率

Fig.3 Leaf photosynthetic rate of maize under different plant arrangement patterns and planting densities

不同种植方式和密度下,玉米叶片 P_n 均随叶片的不断衰老而呈降低趋势(图 3),种植方式仅在吐丝后 20 d 和吐丝后 40 d 时对 P_n 具极显著影响($P<0.001$),其中种植方式 E 在吐丝后 40 d 时,叶片 P_n 显著高于其他种植方式,种植方式 A、B 和 D 相对较低。除吐丝后 40 d 以外,吐丝后不同种植密度对 P_n

作用均达显著水平($P<0.05$),随密度的提高呈下降趋势,在吐丝后 5 d 和完熟期时,种植密度 M1 的 P_n 显著高于 M4;在吐丝后 20 d 时,种植密度 M2 的 P_n 均显著高于 M3 和 M4,与 M1 差异不显著。种植方式和种植密度间对 P_n 的的互作效应不显著($P>0.05$)。

2.6 不同种植方式和密度下玉米叶绿素含量变化

表 5 种植密度和方式对玉米叶绿素含量的影响

Table 5 Effect of planting density and plant arrangement patterns on chlorophyll content in maize leaf

试验因素 Experimental factor		拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Big trumpet period	吐丝后 5 d 5 d after silking	吐丝后 20 d 20 d after silking	吐丝后 40 d 40 d after silking	完熟期 Full maturity period
种植方式 Planting pattern	A	2.96 a	4.03 ab	4.67 a	5.44 a	4.44 ab	3.85 a
	B	2.24 b	3.52 b	4.90 a	5.65 a	4.14 b	3.60 a
	C	2.73 ab	4.20 a	5.04 a	5.50 a	4.03 b	3.02 b
	D	2.09 b	3.88 ab	5.33 a	5.74 a	4.40 ab	2.83 b
	E	2.57 ab	4.11 a	5.18 a	5.69 a	4.77 a	3.66 a
种植密度 Planting density	M1	2.55 a	4.13 a	5.32 a	5.67 a	4.58 ab	3.78 a
	M2	2.52 a	3.85 a	5.09 a	5.66 a	4.82 a	3.80 a
	M3	2.41 a	4.03 a	4.96 a	5.60 a	4.16 bc	3.08 b
	M4	2.59 a	3.78 a	4.73 a	5.48 a	3.87 d	2.90 b
均 方 Mean square	种植方式 Pattern (df=4)	1.542*	0.851*	0.795	0.195	0.997*	2.331***
	密度 Density (df=3)	0.190	0.706	0.905	0.133	2.681***	3.326***
	种植方式×密度 Patterns×Density (df=12)	0.394	0.677*	0.683	0.277	0.295	0.415***

如表 5 所示,随生育期的推进,不同种植方式和密度下,玉米叶片叶绿素含量均呈先升高后降低的趋势。除吐丝后 5 d 和吐丝后 20 d 以外,种植方式对叶绿素含量均表现为显著的影响($P<0.05$),拔节期时种植方式 A 显著高于 B 和 D,大喇叭口期时种植方式 C 和 E 显著高于 B。在吐丝后 40 d 和完熟期时,种植方式 E 均显著高于 C。在吐丝后 40 d 和完熟期,种植密度对叶绿素含量具有极显著的影响($P<0.001$)。与 P_n 规律相似,随种植密度的不断增加,玉米叶片叶绿素含量不断降低。在生育前期,种植方式 A、C 和 E 叶绿素含量均较高;进入生育后期,种植方式 E 叶片持绿性较好,衰老缓慢,显著的高于 C。不同种植密度下,生育前期叶绿素含量差异并不显著,在生育后期低种植密度下玉米叶片具有更长的功能期。

3 结论与讨论

前人研究表明,花后干物质积累与分配对产量具有重要的影响,光合作用产物的积累与分配决定作物的群体产量^[12]。子粒内积累的大量碳主要来自于子粒形成期间的光合作用产物供应^[13]。本研究

中种植方式 110 cm 大垄双行(一行为一穴单株、一行为一穴双株;两行均一穴单株)种植,玉米后期干物质积累较多,一方面说明生育后期光合生产能力高,另一方面说明库的需求量大,碳水化合物运输顺畅,促进了子粒产量和收获指数的显著提升。该种植方式的产量优势源于穗粒数、千粒重和穗数等的相互补偿作用。

曹娜等^[14]认为,高产的玉米群体一定有较高的叶面积指数。玉米整个生育期内叶面积的大小、功能期的长短关系着叶片光合能力的强弱,影响着干物质的生产能力。本研究发现,不同种植密度条件下,种植方式 110 cm 大垄双行(一行为一穴单株、一行为一穴双株;两行均一穴单株)的叶面积指数和光合势显著高于其他种植方式,这也是其吐丝后干物质累积和子粒产量相对较多的原因之一。

玉米子粒产量的形成主要在花粒期,花粒期的生理特征决定着子粒产量的高低。黄智鸿等^[15]认为,具有生育后期光合速率高、功能期较长的高产群体是获得作物高产的重要保证。董树亭等^[16]认为,延长花粒期群体光合高值持续期保证光合源的充分供应是玉米高产的重要方面。本研究发现,在玉米

生育前期,密度对叶绿素含量的影响差异不显著,在生育后期叶绿素含量则随密度的增加而增加,但当种植密度达到9.0万株/hm²时,叶绿素含量有所降低,这与吴建明等^[17]研究的结果一致。

种植方式110 cm大垄双行(一行为一穴单株、一行为一穴双株;两行均一穴单株)的叶绿素含量和Pn下降缓慢,光合作用衰退缓慢,延长了光合同化物的积累时间,保证充足的碳水化合物供应于粒灌浆。维持吐丝后叶片较高的叶绿素含量、延长植株光合功能期、减缓叶片衰落,对提高吐丝后干物质积累及最终产量有非常重要的影响。

本试验结果表明,大垄双行(两行均一穴单株)和大垄双行(一行为一穴单株、一行为一穴双株)两种种植方式高产形成的主要原因,一是通过库容(千粒重和穗粒数)的拉动力,增加吐丝后干物质积累;二是通过维持吐丝后群体的绿叶面积,提高群体光合势,保证吐丝后干物质的积累。大垄双行(两行均一穴单株)的种植方式产量优势突出,大垄双行(一行为一穴单株、一行为一穴双株)次之。

参考文献:

- 钱春荣,于洋,宫秀杰,等.黑龙江省不同年代玉米杂交种产量对种植密度和施氮水平的响应[J].作物学报,2012,38(10):1864-1874.
- Qian C R, Yu Y, Gong X J, et al. Response of grain yield to plant density and nitrogen application rate for maize hybrids released from different eras in Heilongjiang Province[J]. Acta Agron. Sin., 2012, 38(10): 1864-1874. (in Chinese)
- 于琳,李艳杰,纪武鹏.栽培方式对玉米农艺性状及产量的影响[J].玉米科学,2009,17(4):101-103.
- Yu L, Li Y J, Ji W P. Effects of cultivation mode on agronomic characters and yield of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(4): 101-103. (in Chinese)
- 赵明,李少昆,王志敏,等.论作物源的数量质量关系及其类型划分[J].中国农业大学学报,1998,3(3):53-58.
- Zhao M, Li S K, Wang Z M, et al. Exposition on genotypes classification and relationship between quality and quantity of crop source[J]. Journal of China Agricultural University, 1998, 3(3): 53-58. (in Chinese)
- 齐延芳,许方佐,周柱华.种植密度对玉米鲁原单22光合作用的影响[J].核农学报,2004,18(1):14-17.
- Qi Y F, Xu F Z, Zhou Z H, et al. Effect of plant density on photosynthesis capability of new maize hybrid luyuanan 22[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2004, 18(1): 14-17. (in Chinese)
- 王庆成,刘开昌,张秀清,等.玉米的群体光合作用[J].玉米科学,2001,9(4):57-61.
- Wang Q C, Liu K C, Zhang X Q, et al. Canopy Photosynthesis of Maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2001, 9(4): 57-61. (in Chinese)
- 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[J].山东农业科学,2001(6):25-29.
- 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 hybrid[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2001(6): 25-29. (in Chinese)
- 齐华,梁熠,赵明,等.栽培方式对玉米群体结构的调控效应[J].华北农学报,2010,25(3):134-139.
- Qi H, Liang Y, Zhao M, et al. The effects of cultivation ways on population structure of maize[J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 2010, 25(3): 134-139. (in Chinese)
- 张秀田,郑延海,徐宪斌.夏大豆一穴双株栽培模式研究[J].耕作与栽培,1998(6):27-28.
- Zhang X T, Zheng Y H, Xu X B. Double plants in hole cultivation mode of summer soybean[J]. Tillage and Cultivation, 1998(6): 27-28. (in Chinese)
- 吴建军.酒泉地区棉花双株双层高产栽培技术[J].甘肃农业科技,2002(11):15-16.
- Wu J J. Jiuquan region of cotton double high yield cultivation techniques[J]. Gansu Agr.Sci.and Techn., 2002(11): 15-16. (in Chinese)
- 易燕,徐守波,芦峰,等.高产优质杂交油菜新品种翔油一号双株移栽试验研究[J].种子,2011(8):127-128.
- Yi Y, Xu S B, Lu F, et al. Study on double plant transplanting technology of high yield and yield quality hybrid rape new variety Xiangyou No.1[J]. Seed, 2011(8): 127-128. (in Chinese)
- 张宪政.作物生理研究法[M].北京:农业出版社,1992.
- 沈秀瑛,戴俊英,胡安畅,等.玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究[J].作物学报,1993,19(3):246-252.
- Shen X Y, Dai J Y, Hu A C, et al. Studies on relationship among character of canopy light interception and yield in maize populations [J]. Acta Agron. Sin., 1993, 19(3): 246-252. (in Chinese)
- Tanaka A, Osaki M. Growth and behavior of photosynthesized ¹⁴C in various crops in relation to productivity[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1983, 29(2): 147-158.
- 曹娜,于海秋,王绍斌,等.高产玉米群体冠层结构及光合特性分析[J].玉米科学,2006,14(5):94-97.
- Cao N, Yu H Q, Wang S B, et al. Analysis on canopy structure and photosynthetic characteristics of high yield maize population[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(5): 94-97. (in Chinese)
- 黄智鸿,王思远,包岩,等.超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J].玉米科学,2007,15(3):95-98.
- Huang Z H, Wang S Y, Bao Y, et al. Studies on dry matter accumulation and distributive characteristic in super high-yield maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(3): 95-98. (in Chinese)
- 董树亭,高荣岐,胡昌浩,等.玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J].作物学报,1997(3):318-325.
- Dong S T, Gao R Q, Hu C H, et al. Study of canopy photosynthesis property and high yield potential after anthesis in maize[J]. Acta Agron. Sin., 1997(3): 318-325. (in Chinese)
- 吴建明,梁和,陆国盈,等.密度和肥料对高油玉米生理性状的影响[J].西南农业学报,2005,18(4):392-396.
- Wu J M, Liang H, Lu G Y, et al. Effect of density and fertilizer on physiological characteristics of high-oil maize[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005, 18(4): 392-396. (in Chinese)

(责任编辑:高阳)