

DOI: 10.5846/stxb201305020885

张倩, 张洪生, 宋希云, 姜雯. 种植方式和密度对夏玉米光合特征及产量的影响. 生态学报, 2015, 35(4): 1235-1241.

Zhang Q, Zhang H S, Song X Y, Jiang W. The effects of planting patterns and densities on photosynthetic characteristics and yield in summer maize. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(4): 1235-1241.

种植方式和密度对夏玉米光合特征及产量的影响

张 倩, 张洪生, 宋希云, 姜 雯*

青岛农业大学农学与植物保护学院/山东省旱作农业技术重点实验室, 青岛 266109

摘要:为探明种植方式和密度对玉米光合特征及产量的影响,以郑单 958 为材料,在不同种植密度水平(67500 株/hm² 和 82500 株/hm²)下,以常规等行距种植方式为对照,设置 3 种不同缩行宽带种植方式(三行一带、四行一带、五行一带)进行比较研究。结果表明:与对照相比,无论高密度还是中等密度下,各缩行宽带种植方式均使玉米穗位上第 1 叶茎叶夹角显著减小,其中中三行一带种植方式穗位上两叶叶夹角值均最小;各缩行宽带种植方式光合速率(P_n)均不同程度高于对照,子粒产量显著增加,其中三行一带、四行一带、五行一带种植方式分别比对照增加 16.7%、6.1%、10.7% (2011 年)和 17.2%、12.1%、10.6% (2012 年)。所有处理中,三行一带种植方式高密度处理 2011 年和 2012 年籽粒产量均最高,因此可推荐为黄淮海夏玉米高产高效种植新方式。

关键词:夏玉米;种植方式;光合特征;产量构成因素

The effects of planting patterns and densities on photosynthetic characteristics and yield in summer maize

ZHANG Qian, ZHANG Hongsheng, SONG Xiyun, JIANG Wen*

Shandong Key Laboratory of Dryland Farming Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: In China, maize (*Zea mays* L.) is the third most important cereal crop, after wheat and rice, and is used as a staple food for humans, livestock and as raw material for many industrial products. The Huang-Huai-Hai Plain is the most important maize production region; however, in recent years, during the maize growing season, especially during the pollination period, extreme weather, such as heat waves and overcast or rainy weather, has frequently occurred in this area. These weather events seriously reduced maize plant biomass and grain yield for the current conventional uniform row spacing pattern, especially with an increased plant density. Crop row spacing can influence the canopy architecture, and optimal row spacing can improve the group structure, increase sunlight penetration, reduce competition between strains, and promote the individual plant growth, which contributes to a high biomass and maize yield. The objective of this study is to further explore the effects of planting patterns combined with plant densities on the photosynthetic characteristics of summer maize. Field experiments involving four planting patterns (three-row strip, four-row strip, five-row strip and the control conventional uniform row spacing pattern) under two plant densities (67500 and 82500 plants/hm²), using the 'Zheng-Dan 958' cultivar were conducted in 2011 and 2012 in this region. Under both high and low plant densities, compared with the control, the strip planting patterns decreased the leaf angle of the 1st leaf above the ear, and the leaf angles of the 1st and 2nd leaves above the ear were smallest under the three-row strip pattern. The SPAD value of ear leaves was significantly influenced by treatments in both years at the flowering stage and in 2012 at the maturity stage. At flowering stage, the SPAD

基金项目:粮食丰产科技工程(2011BAD16B09, 2012BAD04B05); 山东省 2013 年度农业重大应用技术创新课题(山东省中低产田小麦玉米两熟丰产高效关键技术研究示范); 青岛市民生计划项目(13-1-3-101-nsh); 山东省高校优秀科研创新团队(旱地作物水分高效利用创新团队)

收稿日期:2013-05-02; **网络出版日期:**2014-04-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wenjiang@qau.edu.cn

value was increased under strip planting patterns, and the highest and lowest values were observed using the three-strip pattern and the control, respectively. Photosynthesis (P_n), stomatal conductance ($Cond$), and intercellular CO_2 concentration (C_i) were all significantly affected by the treatments, but the transpiration rate (Tr) was not. P_n was higher in the strip planting patterns than the control, increasing by 51.3%, 37.7%, and 45.7% under the three-, four- and five-row strip treatments, respectively. Among all treatments, the three-strip planting pattern attained the highest P_n , $Cond$ and Tr values. The grain yield was also increased by the changed planting patterns, and the average yields were 16.7%, 6.1% and 10.7% higher in 2011 and 17.2%, 12.1% and 10.6% higher in 2012 under the three-, four- and five-row strip treatments, respectively, compared with the control. At the maturity stage in 2011, no difference in the percentage of barren stalks was observed among the planting patterns, but a significant difference was observed in 2012. The conventional uniform row spacing pattern had the highest percentage of barren stalks in both years. Among all the treatments, the three-row strip planting pattern with a high plant density (82500 plants/hm²) produced the highest grain yield in both years. Thus, the grain yield of summer maize can be mostly enhanced by using a three-row strip planting pattern, especially under a higher plant density.

Key Words: *Zea mays* L.; Strip planting pattern; Photosynthetic characteristics; Yield components

玉米是我国主要农作物,是粮食增产的主力军。同其它作物一样,玉米生产是一个种群过程,而非个体的表现^[1],要获得高产,必须建立合理的群体结构。由于玉米生长季较短、光热资源有限,玉米自我调节能力较低,不适宜的群体结构会影响夏玉米正常的生长发育从而导致产量降低,因此研究玉米高产增产应以群体结构特征为切入点^[2]。玉米冠层的形态结构是影响作物群体光分布与光合特性的重要因素之一^[3],合理的冠层结构有利于构建玉米高产群体^[4],而玉米冠层功能及产量形成往往受到诸如品种、气候、栽培措施等多种因素的影响^[5-10],其中,种植方式、密度是影响玉米冠层结构、微环境的最直接因素。研究表明随着种植密度的增加,虽然单株产量有所下降,但群体冠层的总受光量却达到了最大值,总产量增加^[11]。在玉米种植方式上研究发现与常规等行距栽培相比,宽窄行种植可改善群体结构和冠层的微环境,增加通风透光量,减少株间竞争,促进植株生长发育^[12-15]。近年研究发现,缩行宽带种植方式即缩小行距增加宽带,可充分利用边行边际效应,增加群体通风透光量,显著减小穗上位叶夹角,提高玉米光合能力,产量增加幅度较大,且缩行宽带种植方式下玉米茎粗增加,减少了倒伏率^[16-17]。而缩行宽带种植方式在不同密度条件下对夏玉米冠层结构、光合生理特征的影响尚未见研究报道,基于此,连续两年以缩行宽带种植方式及其与密度互作为研究对象进行大田试验,旨在为通过改进种植方式来改善玉米冠层结构、提高群体光合增产潜力,实现玉米高产高效提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验分别于 2011 年和 2012 年在青岛农业大学胶州试验站(35.53°/N, 119.58°/E)进行。2011 和 2012 年胶州市玉米生育期间降雨量分别为 554 和 394 mm,光照时数分别为 513 和 680 h。试验地前茬为小麦。供试材料为当地主栽夏玉米品种郑单 958。试验分别于 2011 年 6 月 29 日、2012 年 6 月 26 日播种,2011 年 10 月 12 日、2012 年 10 月 9 日收获,全生育期均为 106d。2011 年播前取试验地 0—20 cm 土层,测得有机质 6.75 g/kg、碱解氮 84.00 mg/kg、速效磷 69.25 mg/kg、速效钾 86.82 mg/kg、pH 值 6.88。试验设计为两因素裂区设计,主区为种植方式,副区为种植密度,3 次重复。种植方式包括对照(传统等行距)、三行一带、四行一带和五行一带三种缩行宽带种植方式;密度设为中等密度(67,500 株/hm²)和高密度(82500 株/hm²);小区面积 71.5 m²。基施沃夫特复合控释肥(750 kg/hm²),N、P₂O₅、K₂O 配比为 22-8-12,玉米生长期间不追肥。玉米整个生育期给予常规田间管理。种植方式如图 1。

1.2 测定项目与方法

在吐丝期根据各种种植方式行数(每行1株),等行距(选择小区中连续3行)、三行一带、四行一带、五行一带种植方式分别选取连续植株3株、3株、4株、5株测定株高、穗位高、穗位上下两叶叶夹角(不测穗位叶)及叶向值(LOV),叶向值根据方程 $LOV = (90^\circ - \text{叶仰角}) \times \text{叶片直立高度} / \text{叶长}$ 计算^[1];按照同样取样方法在吐丝期和成熟期利用日本叶绿素测定仪(SPAD-502)测量最顶端两片展开叶 SPAD 值;在吐丝后 35 d, 9:00—11:00(天晴无风),利用 LI-6000 光合仪进行穗位叶光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)、胞间 CO_2 浓度(C_i)与蒸腾速率(T_r)等瞬时光合指标测定;成熟期每个小区取中间2个带测定产量(每带长5 m),称所有鲜果穗重量从所收果穗中随机选取20穗,风干,考种,计算实际产量(用 GAC2100 谷物水分速测仪测定玉米子粒含水量)。

1.3 数据处理与分析

试验数据采用 SAS9.0(Duncan 新复极差法)数据处理系统进行数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 种植方式、密度对夏玉米茎秆形态的影响

由种植方式间比较分析可以看出,2011 年各种种植方式间除穗位高外差异均不显著,而 2012 年除茎粗外差异均达到显著水平(表1),其中 2011 年和 2012 年均均为五行一带种植方式下株高、穗位高最高,对照等行距种植方式最低;2012 年第2节节间长度为对照等行距种植方式最长,而三行一带种植方式最短。种植方式间茎粗值虽然差异不显著,但与对照等行距种植方式相比,各缩行宽带种植方式下茎粗均有所增加,尤其是在高密度水平下。密度间比较,除 2011 年穗位高外,株高、穗位高和茎粗连续两年差异均未达到显著水平,但高密度水平下株高、穗位高均高于中等密度,茎粗则相反。密度间第2节节间长度差异不显著,第3节节间差异显著,高密度水平下第2、第3节节间节间长度均高于中等密度。种植方式与密度互作对夏玉米的茎秆形态(除 2011 年穗位高)无显著影响。

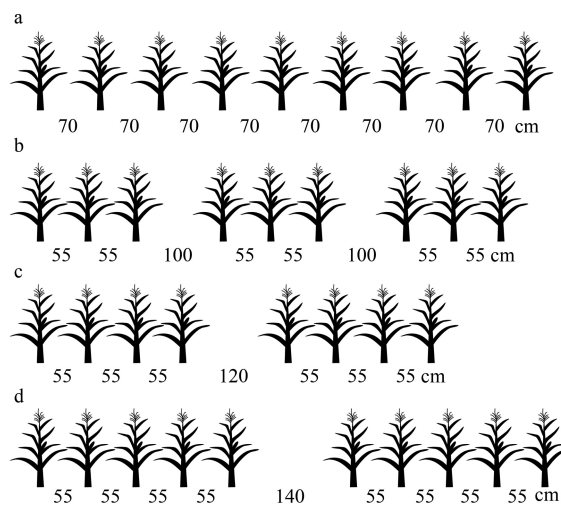


图1 种植方式图示

Fig.1 Graphical representation of the planting patterns

a: 常规等行距(CK)表示等行距70 cm;b: 三行一带表示2个相等小行距55 cm,加一带宽100 cm;c: 四行一带表示3个相等小行距55 cm,加一带宽120 cm;d: 五行一带表示4个相等小行距55 cm,加一带宽140 cm

表1 种植方式、密度对夏玉米茎秆形态的影响

Table 1 Stem morphological traits of summer maize in different planting patterns and densities in years 2011 and 2012

种植方式 Planting patterns	密度/hm ² Density Plants	株高/cm Plant height		穗位高/cm Ear height		茎粗/cm Stem diameter		节间长度(2012)/cm Internode length	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	第2节 The 2 nd	第3节 The 3 rd
等行距 CK	67500	235.17	227.78	107.50	102.33	2.65	2.52	8.18	10.94
	82500	242.27	230.78	122.17	102.56	2.63	2.32	8.22	10.88
三行一带 Three-row	67500	248.83	239.22	115.00	102.78	2.78	2.79	6.39	9.61
	82500	252.83	242.56	115.83	114.22	2.68	2.80	7.47	10.93
四行一带 Four-row	67500	244.67	241.11	111.00	103.56	2.82	2.59	7.28	10.00
	82500	248.67	235.33	121.83	108.56	2.57	2.69	7.48	10.17
五行一带 Five-row	67500	253.33	247.56	124.50	114.44	2.83	2.73	7.39	10.28
	82500	255.50	248.56	118.83	116.11	2.80	2.53	7.21	10.60

续表

种植方式 Planting patterns	密度/hm ² Density Plants	株高/cm Plant height		穗位高/cm Ear height		茎粗/cm Stem diameter		节间长度(2012)/cm Internode length	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	第2节 The 2 nd	第3节 The 3 rd
种植方式 Patterns	等行距 CK	238.72	229.28	114.83	102.44	2.64	2.42	8.20	10.91
	三行一带 Three-row	250.83	240.89	115.42	108.50	2.73	2.79	6.93	10.27
	四行一带 Four-row	246.67	238.22	116.42	106.06	2.69	2.64	7.38	10.08
	五行一带 Five-row	254.42	248.06	121.67	115.28	2.82	2.63	7.30	10.44
	LSD	ns	9.16 *	4.27 *	8.26 *	ns	ns	0.47 *	ns
密度 Density	67500	245.50	238.92	114.50	105.78	2.77	2.66	7.31	10.21
	82500	249.82	239.31	119.67	110.36	2.67	2.59	7.59	10.64
	LSD	ns	ns	3.02 *	ns	ns	ns	ns	0.41 *
种植方式×密度 Patterns×Density		ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

LSD: Least Significant Difference, 表示最小显著差; 显著水平为 $P=0.05$, * 显著, ns: 不显著

2.2 种植方式、密度对夏玉米茎叶夹角的影响

种植方式对玉米穗位上两叶叶夹角影响显著,对穗位下两叶叶夹角及穗位上下两叶叶向值影响均不显著(表2),其中无论在高密度还是中等密度下,三行一带种植方式穗位上两叶叶夹角值均最小,叶向值均高于其他种植方式,等行距种植方式穗位上第1叶叶夹角(20.33°)比各缩行宽带种植方式高 1.1° — 1.8° ,而五行一带种植方式穗上第二叶叶夹角最高,其次为对照等行距种植方式。密度间比较,除高密度水平下穗位上第2叶叶夹角显著低于中等密度水平外,穗位层其他穗位叶叶夹角及叶向值差异均不显著。种植方式与密度互作对穗位层叶夹角及叶向值影响亦不显著。

表2 种植方式、密度下夏玉米穗部叶片叶夹角、叶向值(2012)

Table 2 Leaf angle (LA) and leaf orientative value (LOV) of summer maize in different planting patterns and densities in 2012

种植方式 Planting patterns	密度/hm ² Density plants	穗位上第2叶 The 2nd		穗位上第1叶 The 1st		穗位下第1叶 The 1st		穗位下第2叶 The 2nd	
		leaf above ear/($^{\circ}$)		leaf above ear/($^{\circ}$)		leaf under ear/($^{\circ}$)		leaf under ear/($^{\circ}$)	
		LA	LOV	LA	LOV	LA	LOV	LA	LOV
等行距 CK	67500	18.89	65.75	20.44	60.37	19.11	54.92	20.56	54.16
	82500	17.33	60.71	20.22	58.01	19.22	56.12	21.11	55.84
三行一带 Three-row	67500	17.33	66.32	18.67	61.71	17.67	56.64	20.78	56.19
	82500	17.33	67.01	18.33	59.44	16.89	57.15	20.33	54.78
四行一带 Four-row	67500	17.78	62.31	18.89	56.04	18.78	54.65	20.78	56.11
	82500	17.67	62.53	19.00	57.05	18.22	57.08	20.67	55.20
五行一带 Five-row	67500	19.67	65.90	19.67	58.40	18.33	55.40	20.89	57.26
	82500	19.00	60.41	18.78	56.36	19.22	54.30	21.00	56.30
种植方式 Patterns	等行距 CK	18.11	63.23	20.33	59.19	19.17	55.52	20.83	55.00
	三行一带 Three-row	17.33	66.66	18.50	60.57	17.28	56.90	20.56	55.49
	四行一带 Four-row	17.72	62.42	18.94	56.54	18.50	55.87	20.72	55.66
	五行一带 Five-row	19.33	63.16	19.22	57.38	18.78	54.85	20.94	56.78
	LSD	0.72 *	ns	0.67 *	ns	ns	ns	ns	ns
密度 Density	67500	18.42	65.07	19.42	59.13	18.47	55.40	20.75	55.93
	82500	17.83	62.67	19.08	57.71	18.39	56.16	20.78	55.53
	LSD	0.51 *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
种植方式×密度 Patterns×Density		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

LA: Leaf angle, 表示叶夹角; LOV: leaf orientative value, 表示叶向值

2.3 种植方式、密度对夏玉米 SPAD 值的影响

由图2可看出叶片 SPAD 值在开花期显著高于成熟期,2011 年开花期及成熟期 SPAD 值(除三行一带

67500 株/hm² 种植方式)均高于 2012 年,可能与 2012 年玉米季节苗期干旱,而吐丝期雨水过多有关。开花期,无论高密度还是中等密度下,各缩行宽带种植方式 SPAD 值均高于等行距种植方式,其中, SPAD 值仅在 2012 年差异达到显著水平,各种种植方式中三行一带种植方式两年内开花期 SPAD 值均最高,对照等行距种植方式均最低;成熟期,无论高密度还是中等密度下,SPAD 值在 2011 年差异未达到显著水平,2012 年三行一带种植方式 SPAD 值最高。

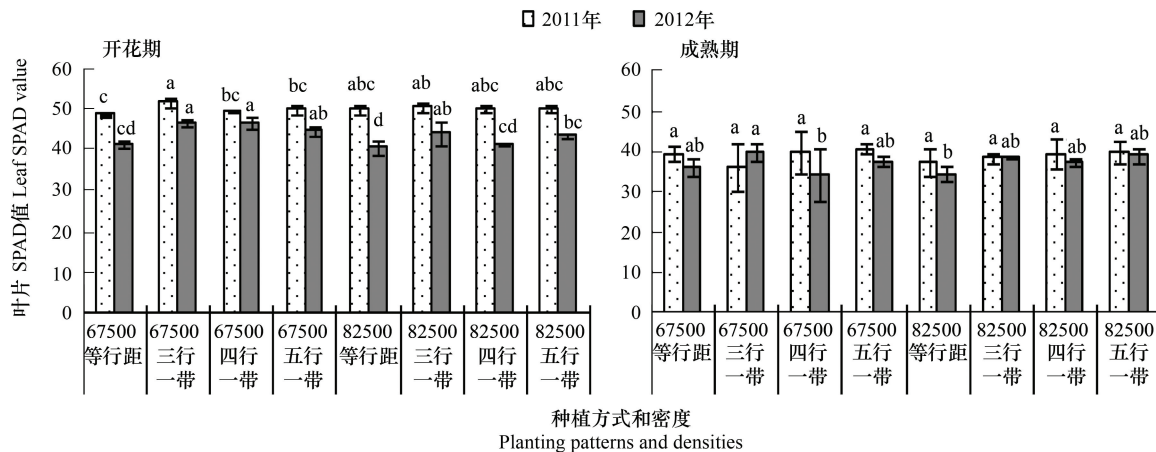


图 2 不同种植方式与密度下夏玉米 SPAD 值

Fig.2 The SPAD value of maize in different planting patterns and densities

SPAD; Soil and Plant Analyzer Development, 表示叶绿素仪(计), SPAD 值即叶绿素相对含量

2.4 种植方式、密度对夏玉米花后光合特性的影响

Simmons^[18] 研究指出玉米吐丝后的光合作用对产量的形成有决定作用。图 3 表明,无论是高密度还是中

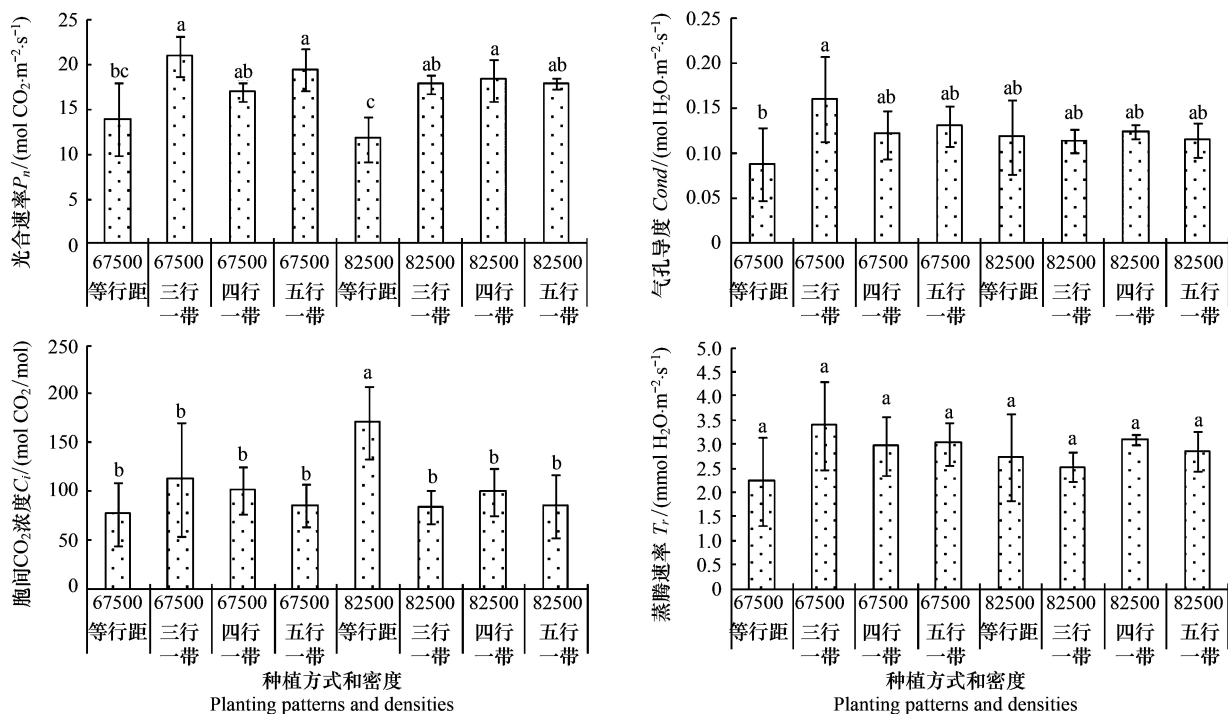


图 3 不同种植方式、密度下夏玉米吐丝后 35d 穗位叶光合特性(2012)

Fig.3 the photosynthetic characteristics of summer maize at 35 days after silking in different planting patterns and densities in 2012

P_n : Photosynthetic rate, 表示光合速率; $Cond$: Stomatal conductance, 表示气孔导度; C_i : Intercellular CO₂ concentration, 表示胞间 CO₂ 浓度; Tr : Transpiration rate, 表示蒸腾速率

等密度下,三行一带、四行一带和五行一带各缩行宽带种植方式光合速率(P_n)均显著高于对照等行距模式,分别比对照高 51.3%、37.7%、45.7%;所有处理中,三行一带中等密度处理气孔导度(Cond)最高,对照等行距高密度处理胞间 CO_2 浓度(C_i)最高,其余处理间差异不显著;而各处理间蒸腾速率(T_r)差异不显著。在所有处理中,三行一带中等密度处理光合速率(P_n)、气孔导度(Cond)、与蒸腾速率(T_r)最高,而三行一带高密度处理胞间 CO_2 浓度(C_i)最高。

2.5 种植方式、密度对夏玉米产量构成因素的影响

2011 年种植方式对各产量构成因素影响均不显著(表 3),但与对照相比,三行一带、四行一带和五行一带各缩行宽带种植方式下空秆率有所下降,分别降低 41.5%、35.6%、37.4%,而穗粒重有所增加,分别比对照增加 6.1%、1.6%、2.6%;密度对空秆率影响显著,即高密度空秆率显著高于中等密度空秆率;种植方式与密度互作对各产量构成因素影响不显著。2012 年种植方式对空秆率、行粒数、百粒重、穗粒重影响显著(表 3),其中三行一带种植方式行粒数、穗粒重最高,四行一带种植方式百粒重最高,五行一带种植方式空秆率最低,而对照等行距种植方式空秆率最高,行粒数、百粒重、穗粒重最小;密度对各产量构成因素影响均不显著;种植方式与密度互作仅对行粒数影响显著。

两年内,种植方式对玉米子粒产量影响显著(表 3),其中三行一带、四行一带、五行一带种植方式分别高于对照等行距种植方式 16.7%、6.1%、10.7%(2011)和 17.2%、12.1%、10.6%(2012)。密度对玉米子粒产量影响均未达到显著水平,但高密度下子粒产量均高于中等密度。种植方式与密度互作对玉米子粒产量影响连续两年均不显著。各处理中三行一带高密度下 2011 年和 2012 年子粒产量均最高,比对照等行距模式中等密度和高密度分别高 25.0%、20.8% 和 25.1%、18.7%。

表 3 种植方式、密度下夏玉米产量及产量构成因素(2011,2012)

Table 3 Yield and yield components of summer maize at the maturity stage in different planting patterns and densities in 2011 and 2012

种植方式 Planting patterns	密度/hm ² Density Plants	空秆率% Percentage of barren stalks		穗行数 No. Kernel rows		行粒数 No. kernels number per row		百粒重/g 100-grain weight		穗粒重/g Grainweight per ear		子粒产量 Yield/ (kg/hm ²)	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
等行距 CK	67500	13.0	3.8	14.5	14.1	32.8	30.3	29.9	28.0	142.3	114.9	6926	6395
	82500	19.2	3.1	14.3	14.3	30.6	32.6	29.0	27.2	127.4	118.2	7166	6745
三行一带 Three-row	67500	6.2	1.2	15.0	13.9	33.8	35.8	28.9	31.5	146.8	159.0	7792	7394
	82500	12.6	1.9	15.1	14.1	32.8	34.0	28.1	30.3	139.1	148.7	8655	8003
四行一带 Four-row	67500	5.5	1.7	15.3	13.7	32.2	34.3	28.1	31.0	139.1	147.7	7116	7352
	82500	15.2	1.6	14.7	13.3	32.8	33.5	28.0	30.9	134.7	135.8	7831	7373
五行一带 Five-row	67500	6.1	1.0	14.7	14.2	33.4	33.7	28.6	30.6	140.8	150.5	7749	7494
	82500	14.0	1.0	15.3	14.0	31.5	32.2	28.2	29.0	135.7	130.8	7854	7036
种植方式 Patterns	等行距 CK	16.1	3.4	14.4	14.2	31.7	31.4	29.5	27.6	134.8	116.5	7046	6570
	三行一带 Three-row	9.4	1.6	15.1	14.0	33.3	34.9	28.5	30.9	143.0	153.9	8223	7699
	四行一带 Four-row	10.4	1.7	15.0	13.5	32.5	33.9	28.1	30.92	136.9	141.8	7474	7363
	五行一带 Five-row	10.1	1.0	15.0	14.1	32.4	32.9	28.4	29.8	138.3	140.7	7801	7265
	LSD	ns	1.2 *	ns	ns	ns	1.2 *	ns	1.8 *	ns	14.3 *	745 *	622 *
密度 Density	67500	7.7	1.9	14.9	14.0	33.1	33.5	28.9	30.3	142.3	143.0	7396	7159
	82500	15.2	1.9	14.9	14.0	31.9	33.1	28.3	29.4	134.2	133.4	7876	7289
	LSD	5.0 *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
种植方式×密度 Patterns×Density		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* 显著; ns: 不显著

3 讨论

玉米高产需靠合理的群体来实现。本研究发现,缩行宽带种植方式下,玉米群体的形态结构有所变化,与传统等行距种植方式相比,缩行宽带种植方式下夏玉米株高增加,穗位提升,茎秆粗壮,第二、三节间明显缩短(表 1),从而增强植株高密度下抗倒伏性,这与梁淑荣等^[11],李宁等^[19],张倩等^[16]研究结果相似。叶向值则

表示叶片上冲和在空间下垂程度的一个综合指标,其值越大,表明叶片上冲性越强;值越小表示叶片越趋于平展,下垂程度越大。玉米的叶倾角即叶片与水平方向夹角的大小与单位叶面积受光强度和截获的辐射量有关,合理的茎叶夹角可使玉米群体接受更多的光,并能合理地分配到群体各叶层。徐庆章^[20]研究表明理想株型上部叶片茎叶夹角适当小些,下部适当大些;武志海等^[12]、梁熠等^[13]研究发现适宜宽窄行种植较等行距种植利于增加中部冠层的透光率;李耕^[21]等也研究指出“80 cm + 40 cm”缩行宽带方式有利于穗位叶层光合有效辐射量的提高。本研究中缩行宽带种植方式穗位上两叶茎叶夹角除五行一带种植方式外比等行距种植方式小 0.4—1.8°,并达到显著水平(表 2),与张倩等^[16]研究结果一致。其中,无论在高密度还是中等密度下,三行一带种植方式穗位上两叶叶夹角值均最小,叶向值均高于其他种植方式,有利于维持群体内较高透光率。

玉米产量的高低与群体的光合能力密切相关,合理的密度和种植方式可保持较高光合速率,延缓生育后期叶片的衰老。杨吉顺^[22]等研究表明采用适宜宽窄行种植较等行距有利于群体光合速率的提高,制造更多的光合产物。本研究 SPAD 值明显高于等行距种植方式,延缓功能叶片衰老;灌浆中后期穗部叶片光合速率显著增加(图 2,图 3),尤其三行一带种植方式下,光合速率在中高密度下分别比等行距增加 50.5%、52.3%。

密度与行距配置显著影响也发现缩行宽带种植方式下玉米顶端叶片开花期和成熟期玉米群体产量和产量构成因素。前人研究表明玉米采用宽窄行方式种植可降低秃顶长、增加穗粒数、千粒重,提高玉米的产量^[22-23]。宁硕瀛^[24]研究表明,宽窄行栽培模式(80 cm + 40 cm)较等行距栽培模式产量平均增产 9.4%,其中在密度水平 7.5 万株/hm²条件下增产 8.9%。本研究发现与对照等行距相比,无论是高密度还是中等密度下,缩行宽带种植方式使植株空秆率明显下降,而穗粒重有所增加,增产幅度为 6.1%—17.2%,其中三行一带种植方式连续两年子粒产量均最高,尤其在高密度水平下,2011 年和 2012 年平均增产 19.7%(表 3),因此三行一带缩行宽带种植方式群体光合增产潜力最大,对进一步挖掘黄淮海地区夏玉米品种高产潜力具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 赵松岭,李凤民,张大勇,段舜山. 作物生产是一个种群过程. 生态学报, 1997, 17(1): 100-104.
- [2] 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.
- [3] 郑毅,张立军,崔振海,吴迪. 种植密度对不同株型夏玉米冠层结构和光合势的影响. 江苏农业科学, 2010, (3): 116-118, 121-121.
- [4] 张旺锋,王振林,余松烈,李少昆,曹连莆,任彤彤. 膜下滴灌对新疆高产棉花群体光合作用冠层结构和产量形成的影响. 中国农业科学, 2002, 35(6): 632-637.
- [5] 黄高宝,张恩和,胡恒觉. 不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 293-297.
- [6] 李少昆,赵明. 不同基因型玉米光合作用强度的调控研究. 石河子大学学报:自然科学版, 1998, 2(3): 245-250.
- [7] 段鸿飞. 不同播种期对冬玉米产量的影响. 玉米科学, 2000, 8(Suppl): 55-57, 59-59.
- [8] 田志刚,田俊芹,曹治彦,张耀辉. 播种期对夏玉米产量及主要性状的影响. 河北农业科学, 2006, 10(4): 14-15.
- [9] 李言照,东先旺,刘光亮,陶飞. 光温因子对玉米产量及产量构成因素值的影响. 中国生态农业学报, 2002, 10(2): 86-88.
- [10] 李潮海,刘奎,周苏政,栾丽敏. 不同施肥条件下夏玉米光合对生理生态因子的响应. 作物学报, 2002, 28(3): 265-269.
- [11] 梁书荣,赵会杰,李洪岐,王俊忠,王林华,曲小菲,吕淑敏. 密度、种植方式和品种对夏玉米群体发育特征的影响. 生态学报, 2010, 30(7): 1927-1931.
- [12] 武志海,张治安,陈展宇,徐克章. 大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析. 玉米科学, 2005, 13(4): 62-65.
- [13] 梁熠,齐华,王敬亚,白向历,王晓波,刘明,孟显华,许晶. 宽窄行栽培对玉米生长发育及产量的影响. 玉米科学, 2009, 17(4): 97-100.
- [14] 刘武仁,冯艳春,郑金玉,刘凤成,朱晓丽,何志,李勇,裴攸,曹雨. 玉米宽窄行种植产量与效益分析. 玉米科学, 2003, 11(3): 63-65.
- [15] 杨克军,李明,李振华. 栽培方式与群体结构对寒地玉米物质积累及产量形成的影响. 中国农学通报, 2005, 21(11): 157-160.
- [16] 张倩,张洪生,姜雯,王晓燕. 种植方式对夏玉米生长及产量的影响. 玉米科学, 2012, 20(2): 111-114.
- [17] 张倩,张洪生,赵美爱,姜雯. 种植方式对夏玉米光合特性与产量的影响. 玉米科学, 2012, 20(5): 102-105.
- [18] Simmons S R, Jones R J. Contributions of pre-silking assimilate to grain yield on Maize. Crop Science, 1985, 25(6): 1004-1006.
- [19] 李宁,翟志席,李建民,吴沛波,段留生,李召虎. 密度对不同株型的玉米农艺、根系性状及产量的影响. 玉米科学, 2008, 16(5): 98-102.
- [20] 徐庆章,王庆成,牛玉贞,王忠孝,张军. 玉米株型与群体光合作用的关系研究. 作物学报, 1995, 21(4): 492-496.
- [21] 李耕,杨今胜,杨吉顺,柳京国,刘鹏,董树亭. 种植密度和行距配置对玉米群体光分布与群体光合特性的影响. 山东农业科学, 2012, 44(6): 39-43.
- [22] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,李耕,董树亭,张吉旺,王敬峰. 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. 作物学报, 2010, 36(7): 1226-1233.
- [23] 陆雪珍,沈雪芳,沈才标,徐晓梅,张文献. 不同种植密度下糯玉米产量及相关性状研究. 上海农业学报, 2008, 24(2): 61-64.
- [24] 宁硕瀛. 种植密度和行距配置对夏玉米群体光合特性及产量的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2012.