

文章编号: 1005-0906(2013)04-0101-06

密度与行距配置对耐密型春玉米 农艺性状及产量的影响

杜天庆, 郝建平, 马磊磊, 郝科栋,
范龙秋, 邢江会, 李 明

(山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801)

摘 要: 采用 3 因素裂区设计, 对 3 个耐密型品种在 3 个种植密度和 3 种行距配置方式下的农艺性状及产量的数量差异进行比较研究。结果表明, 密度对 3 个品种的株高、穗位高、茎粗、群体最大叶面积指数(LAI)、穗数、穗粒数和百粒重的影响达极显著水平, 行距配置对产量构成 3 因素存在显著或极显著影响, 多个作用大小不一的农艺性状间的交互作用共同影响决定玉米产量。强盛 51 与大丰 26 分别在密度为 82 500 株/hm² 和“66.6+33.3”cm 宽窄行配置模式下产量最高, 大丰 26 在密度为 82 500 株/hm² 采用“50+50”cm 等行距种植产量可达 15 000 kg/hm² 以上, 确定这 3 个组合为玉米超高产的最佳配置。

关键词: 玉米; 品种; 密度; 行距配置; 农艺性状; 产量

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Agronomic Characteristics and Yield of Density-tolerant Spring Maize Cultivars in Different Planting Densities and Row Spacing

DU Tian-qing, HAO Jian-ping, MA Lei-lei, HAO Ke-dong,

FAN Long-qiu, XING Jiang-hui, LI Ming

(College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: The plot experiment with three factors split was conducted with three maize varieties, three kinds of planting densities and row spacing. The difference of agronomic traits and yield under different experimental conditions were analyzed. The results showed that plant height, height of ear position, stem diameter, maximum leaf area index were significantly influenced by planting density, and the three components of maize yield had significant difference at different planting density and mode, interaction among agronomic traits influenced the maize yield. The yield of Qiangsheng51 and Dafeng26 both were the highest at a density of 82 500 plants per ha in wide-narrow row (66.6+33.3 cm) planting mode, Dafeng26 had the higher yield that more than 15 000 kg/ha at the density of 82 500 plants per ha in equal row(50+50 cm) planting mode. The three combinations were the optimal allocation of super high yield maize on the experimental conditions.

Key words: Corn; Cultivar; Density; Row spacing; Agronomic characteristic; Yield

种植耐密型品种是快速提高玉米产量的有效途

径之一, 针对品种采取相应的栽培技术措施则是发挥品种增产作用的重要保证^[1]。作物生产是一个过程, 良好的群体结构是玉米高产的根本^[2], 而种植密度和行距配置在很大程度上影响玉米的群体结构, 种植密度决定群体的大小, 行距配置方式则决定群体的均匀性。目前国内外有关玉米种植密度及行距配置效应的研究报道较多, 主要集中在单一因子对群体发育特征、产量及其构成因素、生理指标等方面的影响^[3~10], 而种植密度、行距配置及其品种交互效

收稿日期: 2012-11-26

基金项目: 山西省科技攻关项目(20100311002-9)、国家星火计划项目(2011GA630001)

作者简介: 杜天庆(1968-), 女, 山西祁县人, 副教授, 博士, 主要从事作物高产优质工程研究。Tel: 13593083326

E-mail: tgdtq1968@ina.com

郝建平为本文通讯作者。E-mail: tghjp88@ina.com

应的研究相对较少^[11~14],针对山西春播中晚熟区的该项研究还未见报道。为了探索解决耐密型玉米品种在高密度情况下群体内部由于密度大、叶片互相遮荫、个体间竞争强烈等造成的环境变劣的问题,为耐密型玉米品种在超高产条件下的适宜密度及行距搭配提供科学、合理、实用的量化指标。本试验选取 3 种耐密型品种,设 3 个种植密度和 3 种行距配置方式,研究种植密度和行距配置对 3 个耐密型玉米品种农艺性状及产量的影响,并对 3 个品种进行对比分析,探明超高产春玉米品种与种植密度和行距配置的最佳组合模式,为该区春玉米超高产栽培提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2011 年在山西农业大学农作站进行,耕作层内土壤有机质含量 22.05 g/kg,全氮 1.09 g/kg,速效氮 47.09 mg/kg,速效磷 9.09 mg/kg,速效钾 246.28 mg/kg。采用 3 因素裂区设计,主区为品种 A (A1:大丰 30,A2:强盛 51,A3:大丰 26);副区 1 为种植密度 B(B1:52 500 株/hm²,B2:67 500 株/hm²,B3:82 500 株/hm²);副区 2 为行距配置 C(C1:等行距“50+50”cm,C2:宽窄行“66.6+33.3”cm,C3:宽窄行“100+50”cm),其中 C3 种植方式每穴留苗双株。试验共 27 个处理组合,3 次重复,81 个小区,小区面积 24 m²。每主区内小区随机排列。于播种前 1 周施磷

酸二铵 750 kg/hm²,均匀撒施后旋耕并耙耱,4 月 27 日人工播种器单粒点播,播种深度 5~6 cm。大喇叭口期追施尿素 450 kg/hm²,花粒期用 1%~2% 尿素与 0.4%~0.5% 的磷酸二氢钾混合液 1 200 kg/hm² 进行叶面喷施,其他田间管理方式按高产田要求进行。

1.2 测定项目与方法

玉米出苗后,每小区随机选取生长均匀一致的植株 5 株挂牌固定,分别于苗期、拔节期、大喇叭口期、吐丝期和蜡熟期测定叶面积。单株叶面积=长×宽×0.75,叶面积指数(LAI)=单株叶面积×单位土地面积内株数/单位土地面积;于吐丝期测定株高、茎粗、穗位高等指标。

在全田 90% 以上的植株茎叶变黄、果穗苞叶枯白、子粒乳线消失、子粒变硬、显出该品种子粒色泽时收获。收获时对各小区进行测产,每小区随机选取 30 个果穗进行室内考种,测定果穗穗长、穗粗、穗行数、行粒数、穗粒数、穗重、子粒重、穗轴重以及百粒重,计算出籽率(出籽率=穗粒重/穗重×100)。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理,采用 SPSS 13.0 软件进行方差分析、多重比较、回归和通径分析。

2 结果与分析

2.1 品种、密度和行距配置对主要农艺性状的影响

表 1 主要农艺性状多重比较

Table 1 Multiple comparison of main agronomic traits

性 状 Character	品 种 Variety			密度(株/hm ²) Density			行距配置(cm) Row spacing		
	大丰 30	强盛 51	大丰 26	52 500	67 500	82 500	50+50	66.6+33.3	100+50
株高(cm)	286.94 C	303.69 B	318.48 A	294.99 C	304.94 B	309.19 A	303.62 a	302.25 a	303.25 a
穗位高(cm)	115.20 C	121.80 B	143.50 A	120.19 C	127.64 B	132.67 A	126.43 a	126.81 a	127.26 a
茎粗(cm)	2.57 ab	2.53 b	2.60 a	2.66 A	2.59 B	2.45 C	2.60 a	2.58 ab	2.53 b
最大叶面积指数	4.85 c B	5.03 b B	5.48 a A	4.18 C	5.22 B	5.96 A	5.27 a A	4.99 b B	5.10 b AB
出籽率(%)	88.25 b B	89.60 a A	87.93 b B	88.79 a	88.26 a	88.72 a	88.49 a	88.57 a	88.70 a
穗长(cm)	17.81 b B	19.13 a A	19.23 a A	19.63 a A	18.67 b B	17.87 c B	18.43 a	18.96 a	18.77 a
穗粗(cm)	4.85 a	4.89 a	4.81 a	4.94 a A	4.83 b B	4.77 b B	4.86 a	4.82 a	4.87 a
穗数(穗/hm ²)	65 685.19 b B	66 074.07 b B	67 018.52 a A	56 592.59 C	64 888.89 B	77 296.30 A	68 629.63 A	67 666.67 B	62 481.48 C
穗粒数(粒/穗)	546.30 c B	579.58 b A	592.80 a A	610.48 A	576.25 B	532.36 C	563.39 b B	584.76 a A	571.36 b AB
百粒重(g)	35.53 b B	38.08 a A	35.64 b B	38.08 A	35.89 B	35.41 C	36.57 ab	36.28 b	36.63 a
产量(kg/hm ²)	12 250.05 b B	13 901.97 a A	13 599.93 a A	12 379.39 c B	13 256.46 b AB	14 116.11 a A	13 680.49 a A	13 821.27 a A	12 250.20 b B

注:表中不同大、小写字母分别表示在 1%、5% 水平上差异显著。下表同。

Notes: The different capital letters and small letters indicated significant difference at the 1% and 5% probability level, respectively. The same below.

表 1 结果表明,株高与穗位高均表现随密度增大而极显著升高,同时茎秆粗度极显著变细。与 B1 密度相比,B2 和 B3 密度下株高平均值分别增加 9.95 cm 和 14.20 cm,穗位高分别增加 7.45 cm 和 12.48 cm。由此可见,随密度增加,增大了植株倒伏的可能性。随种植密度增加,单位面积穗数极显著提高,百粒重极显著下降,穗长变短、穗粗变细引发穗粒数极显著下降。当种植密度达 82 500 株 hm^2 时,穗数的增加能够弥补穗粒数和百粒重下降带来的损失,三者的乘积最大、产量最高。

不同的配置方式对玉米株高、穗位高、穗长、穗粗和出籽率无显著影响,但 3 种处理之间的穗数、穗粒数和百粒重存在显著或极显著差异,其中“50+50”cm 等行距种植穗数最多,“66.6+ 33.3”cm

宽窄行种植穗粒数最多,“100+50”cm 宽窄行种植百粒重最大。宽窄行“66.6+33.3”cm 的种植方式下单位面积穗数极显著高于宽窄行“100+50”cm 的种植方式,且该种植方式下穗粒数显著高于宽窄行“100+50”cm 的种植方式,极显著高于等行距“50+50”cm 的种植方式,两种宽窄行种植方式的百粒重存在显著差异。“50+50”cm 等行距种植与“66.6+33.3”cm 宽窄行种植更有利于耐密型玉米群体产量的提高。

2.2 不同群体产量的数量差异分析

表 2 为品种、密度、种植方式 27 个处理组合 3 次重复的产量结果。结果表明,不同处理组合的产量数量存在显著或极显著差异。

表 2 不同处理组合的产量
Table 2 Yields in different treatment combinations

处理组合 Treatment combination	产量(kg/hm ²) Yield			平均产量(kg/hm ²) Average yield	差异显著性 Significant difference	
	I	II	III		5%	1%
A2B3C2	15 396.18	15 857.95	16 776.90	16 010.34	a	A
A3B3C2	15 531.10	16 132.74	16 170.61	15 944.82	ab	A
A3B3C1	14 728.44	14 890.35	15 560.17	15 059.65	abc	AB
A3B2C1	14 758.99	14 665.57	15 019.34	14 814.63	abcd	ABC
A2B3C1	14 344.09	14 587.06	15 265.06	14 732.07	bcd	ABCD
A3B2C2	14 859.00	14 005.21	15 272.49	14 712.23	bcd	ABCD
A2B2C1	15 106.19	13 498.37	15 163.17	14 589.25	cde	ABCD
A2B2C2	13 565.84	14 260.15	14 446.77	14 090.92	cdef	BCDE
A1B3C2	13 212.99	13 921.11	14 147.81	13 760.63	defg	BCDEF
A2B1C2	12 980.46	13 576.93	14 685.69	13 747.70	defg	BCDEF
A3B3C3	13 434.12	13 057.37	13 852.22	13 447.90	efg	BCDEFG
A2B1C1	13 663.50	12 645.60	13 867.13	13 392.08	efg	BCDEFG
A2B2C3	12 421.41	13 500.20	13 861.54	13 261.05	fgh	CDEFG
A2B3C3	12 505.00	13 415.53	13 856.64	13 259.06	fgh	CDEFG
A1B3C1	12 132.27	13 721.58	13 516.24	13 123.36	fghi	CDEFG
A1B2C2	11 566.82	13 973.12	13 520.63	13 020.19	fghi	DEFG
A3B1C3	12 544.86	12 550.13	13 402.61	12 832.53	fghij	EFGH
A3B1C1	12 205.62	12 945.88	13 164.20	12 771.90	ghij	EFGH
A1B1C1	12 912.97	11 573.06	13 203.00	12 563.01	ghij	EFGHI
A1B2C1	11 629.51	11 564.16	13 041.76	12 078.48	hijk	FGHI
A2B1C3	11 352.15	12 064.31	12 689.43	12 035.30	hijk	FGHI
A3B1C2	12 250.95	11 138.71	12 341.22	11 910.29	ijk	GHI
A1B2C3	12 473.12	10 757.49	12 277.25	11 835.95	ijk	GHI
A1B3C3	12 288.76	10 857.42	11 975.13	11 707.10	jk	GHI
A1B1C2	11 650.53	10 626.93	11 305.34	11 194.26	k	HI
A1B1C3	10 831.10	10 999.37	11 071.93	10 967.47	k	I
A3B2C3	10 342.53	11 236.71	11 137.04	10 905.43	k	I

为明确各目标因素对产量影响,以产量为因变量,品种、密度和行距配置为自变量,进行单响应变量的多因素方差分析。由表 3 可知,因素 A、B、C 效应显著,不同品种之间、不同密度之间和不同行距配

置方式之间的产量全不等或不全等;因素 B 与因素 C 的交互效应显著;因素 A、B、C 之间存在交互效应,说明玉米产量因品种、密度和行距配置方式组合的不同而产生明显差异。

表 3 各 目 标 因 素 检 验
Table 3 Tests of between-subjects effects

变异来源 Source of variation	平方和 SS	自由度 DF	均 方 MS	F 值 F-value	P 值 P-value
校正模型	158 722 057.220	26	6 104 694.508	13.274	0.000
截 距	14 221 962 529.458	1	14 221 962 529.458	30 924.329	0.000
A	41 780 221.759	2	20 890 110.880	45.424	0.000
B	40 719 651.508	2	20 359 825.754	44.271	0.000
C	40 804 262.412	2	20 402 131.206	44.363	0.000
A×B	2 803 950.275	4	700 987.569	1.524	0.208
A×C	1 869 016.065	4	467 254.016	1.016	0.407
B×C	11 981 757.643	4	2 995 439.411	6.513	0.000
A×B×C	18 763 197.559	8	2 345 399.695	5.100	0.000
误 差	24 834 361.635	54	459 895.586		
总 数	14 405 518 948.313	81			
观测变量的总变差	183 556 418.855	80			

表 4 品种、密度、行距配置单一及其互作下的产量比较
Table 4 The comparison to yield results by variety, density, row spacing and their interaction

品种(A) Variety			密度(B) Density			行距配置(C) Rowspacing					
A1	12	250.05 b B	B1	12	379.39 c B	C1	13	680.49 a A			
A2	13	901.97 a A	B2	13	256.46 b AB	C2	13	821.27 a A			
A3	13	599.93 a A	B3	14	116.11 a A	C3	12	250.20 b B			
品种(A)×密度(B) Variety×Density			品种(A)×行距配置(C) Variety×Rowspacing			密度(B)×行距配置(C) Density×Rowspacing					
A1	B1	11 574.91 b	A1	C1	12 588.28 a	B1	C1	12 909.00 a			
	B2	12 311.54 ab		C2	12 658.36 a		C2	12 284.08 a			
	B3	12 863.70 a		C3	11 503.51 b		C3	11 945.10 a			
A2	B1	13 058.36 b B	A2	C1	14 237.80 a A	B2	C1	13 827.45 a A			
	B2	13 980.40 ab AB		C2	14 616.32 a A		C2	13 941.11 a A			
	B3	14 667.16 a A		C3	12 851.80 b B		C3	12 000.81 b B			
A3	B1	12 504.91 b B	A3	C1	14 215.40 a	B3	C1	14 305.03 a A			
	B2	13 477.43 b AB		C2	14 189.11 a		C2	15 238.60 a A			
	B3	14 817.46 a A		C3	12 395.29 b		C3	12 804.69 b B			
品种(A)×密度(B)×行距配置(C) Variety×Density×Rowspacing											
A1	B1	C1	12 563.01 abc ABC	A2	B1	C1	13 392.08 c BC	A3	B1	C1	12 771.90 c CD
		C2	11 194.27 cd BC			C2	13 747.69 bc BC			C2	11 910.29 d DE
		C3	10 967.47 d C			C3	12 035.30 d C			C3	12 832.53 c CD
	B2	C1	12 078.48 bcd ABC		B2	C1	14 589.24 bc AB		B2	C1	14 814.63 b AB
		C2	13 020.19 ab ABC			C2	14 090.92 bc B			C2	14 712.23 b B
		C3	11 835.95 bcd ABC			C3	13 261.05 cd BC			C3	10 905.43 e E
	B3	C1	13 123.36 ab AB		B3	C1	14 732.07 b AB		B3	C1	15 059.65 b AB
		C2	13 760.64 a A			C2	16 010.34 a A			C2	15 944.82 a A
		C3	11 707.10 bcd ABC			C3	13 259.06 cd BC			C3	13 447.90 c C

对品种、密度、行距配置方式单一及其二元或三元交互作用下产量的结果分析见表 4。结果表明,品种、密度和行距配置对产量的单一效应表现为同等条件下 A2、A3 的产量极显著高于 A1,且 A2、A3 两品种之间产量差异不显著;随着种植密度提高,玉米产量显著提高,在 B3 种植密度下产量达到最高;C2 和 C1 两种行距配置效果较好。

进一步分析 3 因素的二元或三元互作效应,同一品种的产量随种植密度提高而提高,说明 3 个品种都适合密植;3 个品种在 C1 和 C2 两种行距配置方式下产量差异不显著;B2、B3 两种种植密度与 C1 和 C2 行距配置的交互作用不显著。

A1B3C2、A1B3C1、A1B2C2、A1B1C1 处理组合

$$Y_{\text{大丰}_{30}} = -25\,913.26 + 341.24X_1 - 382.67X_2 - 16\,283.19X_7 + 0.20X_8 + 24.78X_9 + 1\,026.50X_{10} \quad R^2=0.987$$

$$Y_{\text{强盛}_{51}} = -64\,202.70 - 242.53X_2 + 1\,189.84X_6 + 19\,313.50X_7 + 0.32X_8 - 799.60X_{10} \quad R^2=0.962$$

$$Y_{\text{大丰}_{26}} = -63\,822.04 - 177.89X_1 + 1\,637.94X_5 + 1\,773.27X_7 - 0.08X_8 - 22.47X_9 \quad R^2=0.999$$

上述线性回归方程说明,玉米群体产量与株高 X_1 、穗位高 X_2 、出籽率 X_5 、穗长 X_6 、穗粗 X_7 、穗数 X_8 、

产量达 13 000 kg/hm² 左右,组合之间产量差异未达显著水平,其中 A1B3C2 处理组合产量最高,达 13 760.64 kg/hm²,是该品种的最佳组合;对于 A2 品种来说,A2B3C2 产量为 16 010.34 kg/hm²,是该品种超高产组合的体现,A2B3C1 和 A2B2C1 处理组合产量分别为 14 732.07 kg/hm² 和 14 589.24 kg/hm²,与 A2B3C2 之间产量差异未达极显著水平;A3B3C2、A3B3C1、A3B2C1 和 A3B2C2 处理组合的产量达 15 000 kg/hm² 左右。

2.3 主要农艺性状与群体产量的回归和通径分析

密度和行距配置对玉米农艺性状及其产量产生直接或间接作用,为了很好地反映各效应因子与产量的相互关系,通过逐步回归得到最优回归方程:

穗粒数 X_9 和百粒重 X_{10} 呈显著的线性回归关系。

表 5 农艺性状与产量的通径与回归分析

Table 5 Path and regression analysis of the yield effect on the characters of maize

性 状 Trait	与 $Y_{\text{大丰}_{30}}$ 的相关系数 Correlation coefficient of Dafeng30	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect						合 计 Total
			$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_7 \rightarrow Y$	$X_8 \rightarrow Y$	$X_9 \rightarrow Y$	$X_{10} \rightarrow Y$	
株 高(X_1)	0.23	2.72		-2.17	0.52	0.22	-0.18	-0.87	-2.49
穗位高(X_2)	0.19	-2.43	2.43		0.77	0.92	-0.45	-1.05	2.62
穗 粗(X_7)	-0.45	-1.39	-1.02	1.34		-1.48	0.69	1.40	0.94
穗 数(X_8)	0.44	2.13	0.28	-1.05	0.97		-0.86	-1.04	-1.70
穗粒数(X_9)	-0.16	1.13	-0.44	0.97	-0.85	-1.61		0.65	-1.29
百粒重(X_{10})	-0.34	1.64	-1.44	1.55	-1.19	-1.35	0.45		-1.98

性 状 Trait	与 $Y_{\text{强盛}_{51}}$ 的相关系数 Correlation coefficient of Qiangsheng51	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect					合计 Total
			$X_2 \rightarrow Y$	$X_6 \rightarrow Y$	$X_7 \rightarrow Y$	$X_8 \rightarrow Y$	$X_{10} \rightarrow Y$	
穗位高(X_2)	-0.25	-1.80		-0.50	-0.71	2.06	0.70	1.55
穗 长(X_6)	0.09	0.84	1.07		0.81	-1.77	-0.86	-0.75
穗 粗(X_7)	0.28	1.31	0.97	0.52		-1.80	-0.73	-2.00
穗 数(X_8)	0.02	2.39	-1.55	-0.63	-0.98		0.80	-2.37
百粒重(X_{10})	-0.04	-1.03	1.21	0.70	0.92	-1.84		0.99

性 状 Trait	与 $Y_{\text{大丰}_{26}}$ 的相关系数 Correlation coefficient of Dafeng26	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect					合计 Total
			$X_1 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	$X_7 \rightarrow Y$	$X_8 \rightarrow Y$	$X_9 \rightarrow Y$	
株 高(X_1)	-0.90	-0.97		0.13	-0.08	-0.46	0.48	0.07
出籽率(X_5)	-0.45	0.25	-0.51		-0.10	-0.30	0.21	-0.70
穗 粗(X_7)	0.38	0.16	0.49	-0.15		0.31	-0.43	0.22
穗 数(X_8)	-0.91	-0.53	-0.84	0.14	-0.09		0.42	-0.37
穗粒数(X_9)	0.49	-0.63	0.74	-0.08	0.11	0.36		1.12

为了明确各农艺性状对玉米产量的直接重要性和间接重要性,从而为超高产栽培模式提供理论依据,对影响玉米群体产量的 10 个效应因子进行了通径分析(表 5)。结果表明,主要农艺性状对大丰 30 产量的直接重要性表现为株高 > 穗位高 > 穗数 > 百粒重 > 穗粗 > 穗粒数,其中穗粗的间接通径系数值最小为 0.94,说明穗粗对大丰 30 产量的影响主要是直接作用,而其他 5 个性状与产量的相关系数与其直接通径系数均有较大差异,表明各性状之间通过相互作用对产量的影响也很明显,尤其是株高和穗位高通过百粒重的间接效应较大,分别为 -0.87 和 -1.05。因此在采取栽培措施适当控制株高和穗位高的同时,应兼顾百粒重的变化。

从表 5 可以看出,各测试农艺性状对强盛 51 群体产量的直接通径系数除穗位高和百粒重为负向效应外,其余均为正向效应。各农艺性状与产量的直接效应表现为穗数 > 穗位高 > 穗粗 > 百粒重 > 穗长,其中百粒重和穗长对产量影响主要是直接作用,而穗位高主要通过穗数对群体产量起较大的正向间接效应。

大丰 26 的株高对群体产量的直接通径系数为 -0.97,是各性状中效应最大的,说明株高对大丰 26 群体产量的影响最大,且株高、穗粗和穗数对产量的效应主要为直接作用;出籽率对产量的间接效应值为 -0.70,对产量的影响主要是间接效应;穗粒数 X_6 对产量直接作用的负效应较大,而间接作用的正效应总和为 1.12,因此与产量的正相关系数最高。

3 结论与讨论

品种是生产力的决定因素,也是创高产的必备条件^[15]。本研究的 3 个耐密型玉米品种在密度为 82 500 株 hm^2 时平均产量为 14 116.10 kg/hm^2 ,极显著高于其他两个密度处理。该种植密度与陈国平等研究的结论趋于一致,与刘伟等的研究结论一致。本研究的最高产量出现在试验设计的最大密度 82 500 株 hm^2 ,密度高于 82 500 株 hm^2 产量是否继续增加还有待进一步研究。

行距配置对株高、穗位高、出籽率、穗长、穗粗的影响较小,在研究行距配置效应时这些性状可以不做重点考查,其中出籽率的差异主要来自品种,而穗粗的差异主要受密度控制。本研究“50+50”cm 等行距种植方式下玉米群体穗数极显著高于宽窄行种植、“66.6+33.3”cm 宽窄行种植穗粒数最多、而“100+50”cm 宽窄行种植百粒重最大,该结果与

Tanweer Mukhtar 等报道不同行距配置方式对玉米产量构成因素的影响存在显著差异的结论相一致。

农艺性状和产量的通径分析表明,各因子对产量的贡献是由本身的直接效应和通过其他性状的间接效应来实现,是综合作用的结果。性状间存在互变规律性,在采取栽培措施促进或抑制某一性状时必须考虑到他们之间的连带作用,使各性状之间相互协调,促进玉米产量的提高。本研究中株高对大丰 30 和大丰 26 群体产量的直接效应最大,穗位高对大丰 30 和强盛 51 群体产量的直接效应居第 2 位,说明株高和穗位高是影响玉米群体产量的主要因素,而种植密度对株高、穗位高有极显著影响。随种植密度提高,玉米群体最大 LAI 极显著提高。种植密度为 82 500 株 hm^2 时,3 个品种平均最大 LAI 高达 5.96,易引起玉米植株间相互遮荫,造成田间郁蔽,降低群体生态质量。“66.6+33.3”cm 和“100+50”cm 两种宽窄行配置模式下,3 个品种平均最大 LAI 分别为 4.99 和 5.10,极显著或显著低与“50+50”cm 等行距配置模式的 5.27。种植模式是协调高密度条件下个体通风受光条件及营养状况并最终作用于产量的因素之一^[16],实行宽窄行种植有利于通风透光,发挥边际效应,促进植株生长健壮,所以不同品种、不同密度和不同行距配置之间存在一个最佳的组合效应。

在选用耐密品种的前提下提高种植密度是玉米产量进一步提高的重要途径,其次在高密度条件下采用合理的行距配置,才能充分发挥玉米个体发育潜力,使玉米群体与个体得到协调发展,保证玉米群体产量的提高。本研究获得当地最佳选用品种是强盛 51 与大丰 26,两个品种在 82 500 株 hm^2 种植密度和“66.6+33.3”cm 宽窄行配置方式下产量最高,大丰 26 在 82 500 株 hm^2 种植密度和“50+50”cm 等行距配置模式下产量也达 15 000 kg/hm^2 以上,这 3 个组合是本试验条件下玉米超高产的最佳配置。该结论是在特定区域的试验过程中获得,优化方案的适用范围还需要进一步验证。

参考文献:

- [1] 刘战东,肖俊夫,于景春,等. 春玉米品种和种植密度对植株性状和耗水特性的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(11):125-131.
- [2] 薛吉全,张仁和,马国胜,等. 种植密度、氮肥和水分胁迫对玉米产量形成的影响[J]. 作物学报,2010,36(6):1022-1029.
- [3] 马国胜,薛吉全,路海东,等. 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[J]. 生态学报,2008,28(2):661-668.

(下转第 111 页)

本文仅针对南方丘陵红壤旱地不同施肥模式对春玉米生物学特性及产量影响开展初步研究,不同施肥模式对旱地长期墒情和地力、春玉米生理生化特性的影响及肥料利用率差异尚需进一步探索。

参考文献:

- [1] 郭庆法,王庆成,汪黎明,等.中国玉米栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2004.
- [2] 郑若良,宋志荣.施肥对玉米产量及品质的影响研究[J].杂粮作物,2003,23(4):239-241.
- [3] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等.长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):789-794.
- [4] 王立春,赵兰坡,朱平,等.不同施肥方式对黑土春玉米田硝态氮和铵态氮的影响[J].东北林业大学学报,2009,37(12):85-87.
- [5] 龚浩,董远梅,艾训儒.三峡地区平地不同施肥模式对玉米生长和产量的影响[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2010,28(1):33-36.
- [6] 赵四申,王秀,高清海,等.不同机械施肥方式对玉米生长发育及产量效应的影响[J].农业工程学报,1999,15(3):123-127.
- [7] 夏连胜,刘树堂,王艳华,等.长期定位施肥对夏玉米生理特性及产品品质的影响[J].玉米科学,2006,14(3):154-156.
- [8] 毛政国,翟玉光,欧阳善平,等.不同施肥模式对玉米产量和产值影响研究[J].湖南农业科学,2010(19):61-63,73.

- [9] 杨海涛,赵久然,李瑞媛,等.不同施肥模式下保护性耕作春玉米产量及经济效益[J].中国农学通报,2007,23(8):176-180.
- [10] 刘迎雪,李文华,李彩凤,等.不同施氮模式对玉米产量和质量的影响[J].玉米科学,2007,15(2):117-119,126.
- [11] 边秀芝,任军,刘慧涛,等.玉米优化施肥模式的研究[J].玉米科学,2006,14(5):134-137.
- [12] 刘征,娄翠芝,牛春丽.夏玉米高产栽培最佳施肥模式探讨[J].安徽农业科学,2000,28(6):779,781.
- [13] 王培顺,王兴远,张显东,等.不同施肥模式对春玉米生长发育和产量的影响[J].现代农业科技,2011(13):59-60.
- [14] 黄涛,荣湘民,刘强,等.施肥模式对春玉米和小白菜的产量和品质的影响[J].湖南农业科学,2010(3):46-49.
- [15] 王存连,黄智鸿,张晓霞.有机无机肥料配合施用对通油一号玉米品质及产量的影响[J].河北北方学院学报(自然科学版),2008,24(1):46-50.
- [16] 沙晓晴,彭正萍,孙志梅,等.不同施肥模式下玉米-土壤系统磷锌的动态变化[J].安徽农业科学,2011,39(4):2152-2154.
- [17] 李万星,刘永忠,曹晋军,等.肥料与密度对玉米农艺性状和产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(15):194-198.
- [18] 韩立军.不同施钾水平对玉米干物质及产量的影响[J].玉米科学,2006,14(5):127-129.

(责任编辑:胡娟)

(上接第 106 页)

- [4] Sayed MD, Shahram R. Effect of plant density on some growth indexes, radiation interception and grain yield in maize (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Biological Sciences, 2008, 8(5): 908-913.
- [5] Echarte L, Della MA, Cerrudo D. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean [J]. Field Crops Research, 2011, 121: 423-429.
- [6] Abuzar MR, Sadozai GU, Baloch MS. Effect of plant population densities on yield of maize [J]. J. Anim. Plant Sci., 2011, 21(4): 692-695.
- [7] Mashingaidze AB, Lotz LA P. Narrow rows reduce biomass and seed production of weeds and increase maize yield [J]. Annals of Applied Biology, 2009, 155: 207-218.
- [8] Gustavo A M, Cirilo A G, Otegui ME. Row width and maize grain yield [J]. Agronomy Journal, 2006, 98: 1532-1543.
- [9] Tanweer M, Muhammad A, Shahid H. Yield and yield components of maize hybrids as influenced by plant spacing [J]. J. Agric. Res., 2012, 50(1): 59-69.
- [10] 刘伟,吕鹏,苏凯,等.种植密度对夏玉米产量和源库特

性的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1737-1743.

- [11] Fanadzo M, Mashingaidze AB, Nyakanda C. Narrow rows and high maize densities decrease maize grain yield but suppress weeds under dryland conditions in Zimbabwe [J]. Journal of Agronomy, 2007, 6(4): 566-570.
- [12] Gholam R M, Mohammad E G, Saeed S P. Phosphate biofertilizer, row spacing and plant density effects on corn (*Zea mays* L.) yield and weed growth. American [J]. Journal of Plant Sciences, 2012, 3, 425-429.
- [13] 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):1226-1233.
- [14] 梁书荣,赵会杰,李洪歧,等.密度、种植方式和品种对夏玉米群体发育特征的影响[J].生态学报,2010,30(7):1927-1931.
- [15] 陈国平,王荣焕,赵久然.玉米高产田的产量结构模式及关键因素分析[J].玉米科学,2009,17(4):89-93.
- [16] 梁熠,齐华,王敬亚,等.宽窄行栽培对玉米生长发育及产量的影响[J].玉米科学,2009,17(4):97-100.

(责任编辑:姜媛媛)