

# 全膜双垄沟播玉米密度对产量及植株性状的影 响研究

赵 凡, 陈政仁

(甘肃省榆中县农业技术推广中心, 甘肃 榆中 730100)

**摘 要:** 通过在全膜双垄沟播技术模式下 6 个耐密型玉米杂交种不同密度(4.5、5.25、6.0、6.75、7.5 万株· $\text{hm}^{-2}$ )的试验, 研究了玉米产量及其性状与种植密度的关系。在本文研究密度范围内, 玉米的产量随着密度的增加而增高; 当密度达到一定程度之后, 随着密度的增加, 产量反而下降, 二者呈二次曲线模式变化  $Y = -6417.314 + 5501.842X - 396.330X^2$ 。结果表明, 6 个耐密型玉米杂交种在双垄全膜沟播技术模式下最佳密度为 6.941 万株· $\text{hm}^{-2}$ 。此密度下各植株性状指标为: 穗粒数为 499.9 粒、百粒重为 38.63 g、出籽率为 83.71%、穗长为 17.5 cm、株高 194 cm、茎粗 2.14 cm、秃顶长 1 cm。株高与密度之间为正相关, 函数曲线是幂模型  $Y = 140.607X^{0.16602}$ , 穗粒数、穗粗、茎粗、出籽率 4 个性状与密度之间为负相关, 函数模型均为性状指标随密度的增加而减少的三次曲线。秃顶长、穗长、百粒重与密度的关系呈二次曲线模式变化。密度与秃顶长之间为正相关, 与穗长、百粒重之间为负相关。秃顶长随着密度的增大而增加; 穗长、百粒重随密度的增加而呈单边下降的变化趋势。穗位高与密度的相关不显著。

**关键词:** 玉米; 最适密度; 全膜双垄沟播; 产量; 植株性状

**中图分类号:** S513; S352.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0125-09

## Study on influence of all-film double-furrow corn density on yield and plant characters

ZHAO Fan, CHEN Zheng-ren

(Yuzhong Agricultural Technology Promotion Center, Yuzhong, Gansu, China)

**Abstract:** By means of membrane double ditch technology pattern, an experiment of different densities in six dense resistance types of maize hybrids was carried out to study the relationship between production and its character and the plant density. Within the scope of density in this paper, the production of maize increased with the increase of density. When the density reaches to a certain extent, the production decreased with the increase of density instead, and both present a conic model  $Y = -6417.314 + 5501.842X - 396.330X^2$ . The result shows that the optimum density of the six dense resistant types of maize hybrids in membrane doubles ditch technology pattern is  $6.941 \times 10^4$  strain· $\text{hm}^{-2}$ . Under this density, each plant trait indicators are: grain number per spike is 499.9 kernels, 100-grain weight is 38.63 g, the rate of seed is 83.71%, the length of ear is 17.5 cm, the height of plant is 194 cm, the diameter of stem is 2.14 cm and the length of bald head is 1cm. It presents a positive correlation between plant height and density, the function curve is power law model  $Y = 140.607X^{0.16602}$ . There is a negative correlation between density and the four traits of grain numbers per spike, the diameter of the grain, the diameter of stem and the rate of seed, its function model are all cubic curve in which the trait indicators decreased with the increase of density. It presents a conic model between density and the length of bald head, the length of ear and 100-grain weight. There is a positive correlation between density and bald head, and a negative correlation between the length of ear and 100-grain weight. The length of bald head increased with the increase of density. The length of ear and 100-grain weight presents a unilateral decline trend. The test also showed that there is no significant correlation between ear height and density.

**Keywords:** maize; optimum density; all-film double-furrow; yield; plant characters

收稿日期: 2014-04-26

作者简介: 赵 凡(1963—), 男, 甘肃榆中人, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料及旱作农业研究及推广工作。E-mail: bmszhaofan@163.com.

通信作者: 陈政仁(1974—), 男, 甘肃榆中人, 高级农艺师, 主要从事旱作农业技术推广工作。

在玉米高产栽培中密度是影响产量的关键因素<sup>[1-3]</sup>。随着玉米双垄面集雨全膜覆盖沟播栽培技术<sup>[4]</sup>面积的扩大,深入研究不同品种在该技术模式下的最适密度,以进一步挖掘品种最大生产潜力,充分发挥该模式提高玉米产量的作用是玉米栽培技术研究需要解决的关键问题。

有关玉米密度的研究报道较多<sup>[1-3]</sup>,但鲜见有双垄全膜沟播技术模式玉米密度的研究报道。由于玉米种植的最适密度会因生态条件、品种、栽培模式等不同而有差异,合理密植可以使群体和个体协调发展。因此研究不同类型品种在一定生态条件和生产水平下应用双垄全膜沟播技术模式的最适密度甚为重要。为了探讨在较典型的旱地条件下,玉米双垄全膜沟播技术模式的最适密度及密度变化对产量及其构成因素的影响,为旱作区推广应用该技术模式提供参考,2010年我们选择了生育期比较一致的大穗型品种富农1号、金凯2号、沈单16、先玉335、武科2号、郑单958六个品种,在地处甘肃中部半干旱区的榆中县连搭乡石头沟村进行了全膜双垄沟播技术模式栽培密度试验,对玉米植株性状和产量指标进行了测定,应用变量分析及相关理论对不同密度下植株性状和产量的变化进行分析,并对与密度变化显著相关的性状进行了回归曲线拟合,以明确该技术模式下的最适密度,为半干旱地区玉米全膜双垄沟播超高产栽培技术模式提供参考。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于甘肃省榆中县二阴区与中部川塬区交接地带的连搭乡石头沟村(东经 $104^{\circ}5'640''$ ,北纬 $35^{\circ}53'449''$ ),海拔1 973~2 001 m。年均降水量320~350 mm,2010年降水量332.3 mm,年蒸发量1 400 mm,年均气温 $7.4^{\circ}\text{C}$ ,无霜期135 d,气候上属半干旱类型。主要土壤类型为黑垆土川台麻土。该区域为典型雨养农业区,主要作物为春小麦、豌豆与马铃薯等,一年一熟制。2005年开始试验推广玉米双垄面集雨全膜覆盖沟播栽培技术。

### 1.2 试验方法

前茬作物均为小麦,土壤肥力基础较好。前茬作物小麦收获后伏天深耕晒垡,接纳降水,熟化土壤,使土质疏松以利翌年起垄覆膜。玉米整个生育期间施纯氮 $276\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、有效磷 $110\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、有效钾 $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、优质有机肥 $20\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。采用双向分组随机区组设计,重复3次。两个试验因素为:A因素为品种,6个品种处理分别为富农1号、

金凯2号、沈单16、先玉335、郑单958、武科2号,均为大穗耐密型品种。B因素为密度,参照当地历年地膜玉米的栽培密度,设有5个密度处理,分别为 $4.5$ 、 $5.25$ 、 $6.0$ 、 $6.75$ 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $7.5$ 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ,小区面积 $16.5\text{ m}^2$ 。每小区种5垄,4月10日起垄覆膜同时完成,起垄覆膜模式及田间管理按“旱地玉米双垄面集雨全膜覆盖沟播栽培技术”<sup>[4]</sup>进行,行距即按大垄宽80 cm,小垄宽40 cm的宽窄行种植。大垄垄脊高15 cm,小垄高20 cm。玉米播种在大小弓形垄中间的播种沟内,每个播种沟对应一大一小两个集水垄面,株距依密度而定。4月18日播种,9月21日收获。

### 1.3 调查、测定项目及分析方法

生育期调查:观察参试品种各密度处理的各个生育时期,记录时间。植株性状调查:吐丝期每小区选取生长一致的10株标记,成熟时单独收获测单株产量并用作考种;记录植株性状进行分析。本文将密度及产量、植株性状作为一个系统进行分析,对相关系数显著的对应变量进行多类型回归方程拟合,对回归模型方程函数式的基本特征进行分析可以得出两相关性状相互变化的趋势特征和关键点的生物学意义。用Excel进行数据处理,用DPS7.05系统进行变量分析和相关分析。密度和产量按小区产量换算为万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,然后用SPSS16.0系统进行回归曲线方程拟合,选择决定系数最高、 $F$ 检验值的实际显著性水平即 $P$ 值 $<0.05$ 者进行函数分析<sup>[5-6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 密度对产量的影响变量分析

不同品种各密度的小区产量见表1,各处理玉米的农艺性状及经济性性状见表2。通过对本试验结果表2中A、B两个因素的产量结果进行变量分析(表3),结果表明:A、B两因素 $F$ 测验分别达极显著水平,区组间及A、B互作 $F$ 测验未达显著水平。说明6个参试品种间及5个密度处理间产量有显著差异,用LSR法进行多重比较,可选出产量最高的品种和密度。但品种与密度间交互作用差异不显著。

从多重比较的结果来看(表4,表5),6个参试品种中A5、A4两个耐密型品种产量最高。B因素中B4、B5产量最高,这说明在旱作雨养农业区应用玉米全膜双垄沟播技术模式,选用耐密型玉米品种结合较高的密度( $6.75$ 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $7.5$ 万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ )是充分发挥该模式高效利用有限的水资源取得高产的主要措施。

表 1 不同品种各密度小区产量

Table 1 Plot yield of different cultivars in various density

品种 Cultivar	密度/(万株·hm <sup>-2</sup> ) Density/(10 <sup>4</sup> plant·hm <sup>-2</sup> )	产量 Yield/(kg·16.5m <sup>-2</sup> )			平均值 Average /(kg·16.5m <sup>-2</sup> )
		I	II	III	
富农 1 号 Funong 1	4.5	14.88	12.26	14.83	13.99
	5.25	15.36	19.08	21.33	18.59
	6.0	15.57	18.02	21.31	18.30
	6.75	21.27	19.90	21.06	20.74
	7.5	19.24	19.54	21.45	20.08
金凯 2 号 Jinkai 2	4.5	15.55	14.92	16.49	15.65
	5.25	15.40	18.05	17.27	16.91
	6.0	18.08	17.47	19.29	18.28
	6.75	19.89	19.44	19.91	19.75
	7.5	19.00	20.21	17.18	18.80
沈单 16 Shendan 16	4.5	16.21	15.21	16.88	16.10
	5.25	18.50	20.60	18.63	19.24
	6.0	19.05	20.59	21.82	20.49
	6.75	20.92	19.30	21.55	20.59
	7.5	20.46	19.47	19.52	19.82
先玉 335 Xianyu 335	4.5	18.39	18.97	19.05	18.80
	5.25	17.98	21.96	15.79	18.58
	6.0	19.88	23.60	19.43	20.97
	6.75	21.03	23.40	25.59	23.34
	7.5	22.65	22.32	22.09	22.35
郑单 958 Zhengdan 958	4.5	19.08	21.11	18.98	19.72
	5.25	19.59	20.80	21.47	20.62
	6.0	20.65	23.30	21.07	21.67
	6.75	22.24	24.76	23.03	23.34
	7.5	20.36	23.53	20.05	21.31
武科 2 号 Wuke 2	4.5	21.18	16.56	18.13	18.62
	5.25	20.31	19.19	18.84	19.45
	6.0	19.69	20.08	21.04	20.27
	6.75	21.13	21.67	20.66	21.15
	7.5	19.35	21.88	20.07	20.43

表 2 不同处理玉米主要农艺性状和经济性状

Table 2 The main agronomic characters and economic characters of maize in different treatments

处理 Treatment		性状 Shape and properties									
品种 Cultivar	密度 /(万株·hm <sup>-2</sup> ) Density /(10 <sup>4</sup> plant·hm <sup>-2</sup> )	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /cm	穗位高 Spike length /cm	穗长 Spike length /cm	穗粗 Ear diameter /cm	穗粒数 Grain number per spike	秃顶 Length of baldhead /cm	出籽率 Percentage of grain to ear/%	百粒重 100-grain weight /g	产量 Yield /(kg· 16.5m <sup>-2</sup> )
富农 1 号 Funong 1	4.5	170	2.39	76.1	18.45	5.05	514	0.07	85.21	43.1	13.99
金凯 2 号 Jinkai 2	4.5	173	2.47	80.9	18.47	5.13	538	0.63	82.35	42.87	15.65
沈单 16 Shendan 16	4.5	179	2.38	73.1	18.97	5.23	555	0.62	80.08	41.44	16.1
先玉 335 Xianyu 335	4.5	203	2.35	63.7	18.92	4.73	618	0.47	87.28	37.77	18.8

续表 2

郑单 958 Zhengdan 958	4.5	187	2.29	68.7	17.47	5.06	536	0.43	87.95	44.55	19.72
武科 2 号 Wuke 2	4.5	170	2.38	66.7	17.6	4.81	562	0.17	87.31	40.52	18.62
富农 1 号 Funong 1	5.25	183	2.36	75.5	18.39	5.07	500	0.94	82.22	43	18.59
金凯 2 号 Jinkai 2	5.25	178	2.45	77.7	18.77	5	512	0.7	82.14	41.36	16.91
沈单 16 Shendan 16	5.25	180	2.36	78.01	19.37	5.14	529	0.68	82.37	39.56	19.24
先玉 335 Xianyu 335	5.25	209	2.41	76.5	18.37	4.55	555	0.85	86.36	36.79	18.58
郑单 958 Zhengdan 958	5.25	189	2.31	77.7	16.93	5.06	521	0.5	88.17	42.28	20.62
武科 2 号 Wuke 2	5.25	175	2.4	84.0	17.07	4.83	532	0.27	86.96	39.47	19.45
富农 1 号 Funong 1	6.0	186	2.15	74.6	17.79	5.07	494	0.97	81.58	40.59	18.3
金凯 2 号 Jinkai 2	6.0	181	2.46	74.9	18.4	4.91	500	0.93	83.01	40.47	18.28
沈单 16 Shendan 16	6.0	182	2.36	77.7	19.28	5.09	522	0.97	83.88	39.03	20.49
先玉 335 Xianyu 335	6.0	212	2.2	76.3	17.83	4.8	557	1.15	88.06	36.1	20.97
郑单 958 Zhengdan 958	6.0	192	2.22	73.2	17.29	5.06	514	0.52	87.14	41.08	21.67
武科 2 号 Wuke 2	6.0	180	2.03	82.6	17.33	4.62	537	0.33	87.21	37.38	20.27
富农 1 号 Funong 1	6.75	190	2.28	74.4	18.5	5	465	1.03	82.17	39.69	20.74
金凯 2 号 Jinkai 2	6.75	183	2.08	73.1	17.05	4.99	469	0.93	82.25	40.72	19.75
沈单 16 Shendan 16	6.75	189	2.1	76.7	18.52	4.99	518	1.05	83.08	39.44	20.59
先玉 335 Xianyu 335	6.75	219	2.27	68.4	16.6	4.78	524	1.23	88.33	35.52	23.34
郑单 958 Zhengdan 958	6.75	195	2.19	67.6	16.84	4.97	494	0.55	86.14	39.49	23.34
武科 2 号 Wuke 2	6.75	183	2.14	75.3	16.8	4.8	543	0.36	81.91	39.24	21.15
富农 1 号 Funong 1	7.5	194	2.13	72.6	19.28	5.09	442	1.11	80.98	38.85	20.08
金凯 2 号 Jinkai 2	7.5	183	2.04	65.7	17.61	4.93	464	1.1	80.29	40.94	18.8
沈单 16 Shendan 16	7.5	196	2.09	69.9	17.98	4.87	509	1.14	81.77	38.55	19.82
先玉 335 Xianyu 335	7.5	223	2.08	66.5	16.78	4.53	510	1.39	83.14	34.97	22.35
郑单 958 Zhengdan 958	7.5	198	2.16	64.5	15.27	4.88	459	0.73	83.28	38.32	21.31
武科 2 号 Wuke 2	7.5	185	2.23	66.4	16.8	4.53	480	0.5	80.52	38.44	20.43
变异系数/% Variation coefficient		7.11	6.01	7.37	5.48	3.84	7.11	44.80	3.25	5.76	10.68

表 3 变量分析结果

Table 3 Results of variable analysis

变异来源 Source of variation	平方和 Quadratic sum	自由度 Free degree	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
A 因素间 Factor A	139.5040	5	27.9008	12.5510	0.0001
B 因素间 Factor B	197.3667	4	49.3417	22.1970	0.0001
A × B	44.4583	20	2.2229	0.9290	0.5544
误差 Error	143.5040	60	2.3917		

表 4 A 因素多重比较结果

Table 4 Multiple comparison of factor A

处理 Treatment	均值 Average	5%显著水平 5% significant level	1%极显著水平 1% significant level
A5	21.3347	a	A
A4	20.8087	ab	AB
A6	19.9853	bc	AB
A3	19.2473	cd	BC
A1	18.3400	de	C
A2	17.8767	e	C

表 5 B 因素多重比较结果

Table 5 The multiple comparison of factor B

处理 Treatment	均值 Average	5%显著水平 5% significant level	1%极显著水平 1% significant level
B4	21.4861	a	A
B5	20.4650	ab	AB
B3	19.9967	b	BC
B2	18.8972	c	C
B1	17.1489	d	D

## 2.2 密度对产量构成因素影响的相关分析

从本试验不同种植密度不同玉米品种产量的方差分析结果来看,品种与密度交互效应未达显著水平( $F = 0.9290$ ),说明在双垄全膜沟播栽培条件下,不同品种间产量因密度变化的反应差异不显著,即 6 个供试玉米品种的产量随密度的变化而变化的趋势在 6 个品种间的差异可忽略,也即 6 个供试玉米品种的产量不随种植密度的改变而发生不一致的变化。故进行密度对产量及植株性状的影响的相关性分析和拟合密度与各性状关系的数学模型参数时同一密度取 6 个品种的平均值进行计算,这样模型更具有代表性。相关性分析可以明确密度对玉米植株生长发育的作用以及对产量及构成因素的影响。

表 6 相关系数矩阵

Table 6 Correlation matrix

相关系数 Correlation	密度 Plant population	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗粒数 Grain number per ear	秃顶 Length of baldhead	出籽率 Fertility	百粒重 100-grain weight	产量 Yield
密度 Plant population	1.0000										
株高 Plant height	1.00**	1.0000									
茎粗 Stem diameter	-0.97**	-0.95**	1.0000								
穗位高 Ear height	-0.5100	-0.4400	0.5900	1.0000							
穗长 Ear length	-0.96**	-0.96**	0.94**	0.6000	1.0000						
穗粗 Ear diameter	-0.92**	-0.91*	0.84*	0.5300	0.84*	1.0000					
穗粒数 Grain number per ear	-0.98**	-0.98**	0.90*	0.4600	0.93**	0.96**	1.0000				
秃顶 Length of baldhead	0.97**	0.98**	-0.92**	-0.2900	-0.92**	-0.84*	-0.95**	1.0000			
出籽率 Fertility	-0.82*	-0.8000	0.7600	0.7700	0.82*	0.92**	0.87*	-0.6800	1.0000		
百粒重 100-grain weight	-0.96**	-0.96**	0.92**	0.2800	0.86*	0.86*	0.93**	-0.98**	0.6500	1.0000	
产量 Yield	0.88*	0.90*	-0.85*	-0.1500	-0.87*	-0.6600	-0.83*	0.96**	-0.4800	-0.91*	1.0000

注 Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。

通过对 6 个参试品种的 11 个参数进行相关性分析(表 4)来看,密度与产量及构成因素和植株性状的相关系数除与穗位高不显著外,与其它均达显著和极显著水平,密度与株高、秃顶长、产量为正相关,与茎粗、穗粗、穗长、穗粒数、出籽率、百粒重之间为负相关。说明随着密度的增加,玉米植株呈现株高增高,茎粗变细,果穗秃顶变长,穗粗变细、穗粒数减少、出籽率、百粒重下降的趋势。但玉米产量随种植密度增加而提高,这说明由于单位面积穗数的增加从而提高了产量。

### 2.3 密度与其它产量性状指标的数学模型分析

产量是产量相关性状的最终体现,但多数产量性状间存在着负相关关系(表 6),因此,考察玉米种植密度对玉米的影响,协调玉米产量相关性状间的关系,产量性状的变化是应该重点研究的。

本试验品种与密度互作效应未达显著水平( $F = 0.9290$ ),说明在全膜双垄沟播栽培条件下,玉米产量随密度的变化而变化的趋势在 6 个品种间的差异可忽略,故拟合密度与各产量性状关系的数学模型参数时按表 2 中同一密度取 6 个品种的平均值来建立数学模型。依模型的参数特征分析不同密度条件下产量及相关产量性状的变化规律,探讨种植密度对玉米产量性状指标的影响,可以为玉米生产上合理密植提供依据。从表 6 相关分析结果来看,密度的变化对产量性状指标的影响是全面性的,这些性状指标的增减变化最终反映到产量结果中。对表 2 所列各性状中与密度相关系数显著的性状指标(表 6)进行多类型回归方程拟合<sup>[5]</sup>(表 7),密度与各性状拟合的模型函数有 3 种类型:幂模型函数  $Y = aX^b$ ,二次函数  $Y = a + b_1X + b_2X^2$ ,三次函数  $Y = a + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3$ (图 1)。对函数方程求一阶导数并令一阶导数为零,可求得  $Y$  极值点的  $X$  的解<sup>[6]</sup>。对三次函数还可再求二阶导数,令二阶导数为零时可求得函数曲线的拐点。幂模型函数  $Y = aX^b$  的导数为  $Y' = abX^{b-1}$ ,方程为自变量闭区间上的单调增函数,令一阶导数为零求极值时无解,方程无极值。对二次函数式求一阶导数:  $\frac{dy}{dx} = b_1 + 2b_2x$ ,并令一阶导数为零,得到自变量  $x_0 = -\frac{b_1}{2b_2}$  时因变量的极值  $y_0$ 。对三次函数式求一阶导数:  $\frac{dy}{dx} = b_1 + 2b_2x + 3b_3x^2$ ,并令一阶导数为零,得到两个极值点的  $x$  值。对原式求二阶导数:  $\frac{d^2y}{dx^2} = 2b_2 + 6b_3X$ ,令二阶导数为零:  $x_0 = -\frac{b_2}{3b_3}$  得到曲线的拐

点。式中自变量闭区间的上下限为观查值的最小值与最大值<sup>[6]</sup>。

2.3.1 玉米密度对产量的影响 对表 2 中玉米产量和密度的数据进行回归分析,得出产量与密度的模型函数曲线,拟合度最好的是二次曲线  $Y = -6417.314 + 5501.842X - 396.330X^2$ ,  $R^2 = 0.9798$ ,  $F = 48.531$ ,小区产量随密度变化的曲线如图 1 所示。在密度  $X = 6.941$  万株· $hm^{-2}$  时产量有极大值 12 676.8  $kg \cdot hm^{-2}$ ,低于此密度,玉米产量随密度的增加而增加,当超过此密度时,玉米产量随密度增加反而降低。这与方差分析多重比较(表 5)的最高产量 21.49  $kg$  的 B4 处理的密度 6.75 万株· $hm^{-2}$  (4 500 株· $667m^{-2}$  的值十分接近,但模型函数求得的密度值更加精确,函数曲线图更能直观地反映玉米产量和密度的变化关系,说明在旱作雨养农业区应用玉米全膜双垄沟播技术模式,选用耐密型玉米品种适宜的密度在 6.941 万株· $hm^{-2}$  左右。这与孙锐等研究的 6~9 万株· $hm^{-2}$  密度范围是春玉米实现高产的最适播种密度区间的结论一致<sup>[7]</sup>,合理密植是充分发挥该模式高效利用有限的水资源取得高产的主要措施。另外产量随密度变化的变异系数很大(10.68)也说明密度对产量的影响很大,这一点应当在大田生产中引起重视。

2.3.2 玉米密度对株高和茎粗的影响 株高与密度拟合度最好的模型函数是幂模型  $Y = 140.607X^{0.16602}$ ,  $F = 901.410$ ,  $R^2 = 0.9967$ ,  $R = 0.9983$ 。正相关达极显著水平,株高随密度变化的曲线如图 1 所示。方程为自变量闭区间上的单调增函数,在试验密度范围内,随着密度的增加株高由 180.5  $cm$  增加到 196.5  $cm$ ,在最高密度 7.5 万株· $hm^{-2}$  时株高最高。表明随种植密度的增加玉米为克服环境阻力而生长较快,这与张吉旺<sup>[8]</sup>曾经报道的在 7.5~16.5 万株· $hm^{-2}$  范围内增密降低株高,低于 7.5 万株· $hm^{-2}$  时株高随密度的增加而增高的结论相近。茎粗和密度的模型函数曲线是三次曲线,玉米茎粗和密度之间为负相关。 $Y = -2.997 + 2.899X - 0.503X^2 + 0.028X^3$ ,茎粗随密度变化的曲线如图 1 所示。在低密度时最粗,随密度的增加茎粗逐渐减少,从 2.38  $cm$  减少到 2.12  $cm$ ,密度增加则茎秆变细。

2.3.3 玉米密度对穗长和秃尖的影响 玉米穗长和密度之间为负相关,  $R = -0.96^{**}$ 。穗长和密度的模型函数曲线是二次曲线模型  $Y = 18.649 + 0.114X - 0.041X^2$ 。在试验密度区间内,穗长随密度的增加呈单边减少的趋势,平均穗长由 18.3  $cm$

减少到 17.3 cm。

玉米秃尖和密度的模型函数曲线是二次曲线,  $Y = -2.3826 + 0.871X - 0.056X^2$ , 秃尖随密度变化的曲线如图 1 所示。秃尖与密度之间为正相关, 玉米秃尖随密度的增加而增长, 在试验密度区间内, 随着密度的增加秃尖由 0.4 cm 增加到 1 cm, 在最高密度 7.5 万株·hm<sup>-2</sup>时秃尖最长。这主要是密度增加后使玉米顶端花丝伸出较晚或不能伸出, 玉米雌蕊的发育、授粉以及灌浆结实都会受到影响<sup>[9-10]</sup>。秃尖长随密度变化的变异系数最大(见表 2,  $CV = 44.80\%$ ), 说明密度增大会影响玉米的结实而使秃尖增长。

2.3.4 玉米密度对穗粗和穗粒数的影响 玉米穗粗与穗粒数和密度之间为负相关, 分别是:  $R = -0.92^{**}$ ,  $R = -0.98^{**}$ 。密度与穗粗和穗粒数的模型函数都是三次曲线, 分别为  $Y = 10.857143 - 3.044286X + 0.520635X^2 - 0.029630X^3$  和  $Y = 1889.306 - 667.642X + 110.1X^2 - 6.159X^3$ 。两者随

密度变化的曲线如图 1 所示。从图可以看出两者的曲线形状相近, 在试验密度区间内, 两者的最大、最小值均对应最小、最大的密度处理。穗粗和穗粒数随密度的增加而逐渐减少, 穗粗减少 0.2 cm, 平均穗粒数由 553.8 粒逐渐减少到 477.3 粒, 相差 76.5 粒。拐点值在曲线的中间位置附近, 两者随密度变化的趋势相近的主要原因是穗粗和穗粒数之间为高度正相关关系<sup>[11]</sup>(表 1),  $R = 0.96^{**}$ 。

2.3.5 玉米密度对百粒重和出籽率的影响 玉米百粒重和密度的模型函数曲线是二次曲线,  $Y = 57.147 - 4.485X + 0.314X^2$ , 百粒重和密度之间为负相关,  $R = -0.96^{**}$ , 百粒重随密度的增加而降低, 百粒重随密度变化的曲线如图 1 所示。在试验密度区间内, 在最低密度 4.5 万株·hm<sup>-2</sup>时最高, 随密度的增加百粒重下降明显, 在最高密度 7.5 万株·hm<sup>-2</sup>时降到最低, 由 41.7 g 减少到 38.5 g, 百粒重相差 3.2 g, 说明密度会影响玉米的灌浆结实, 从而影响百粒重。

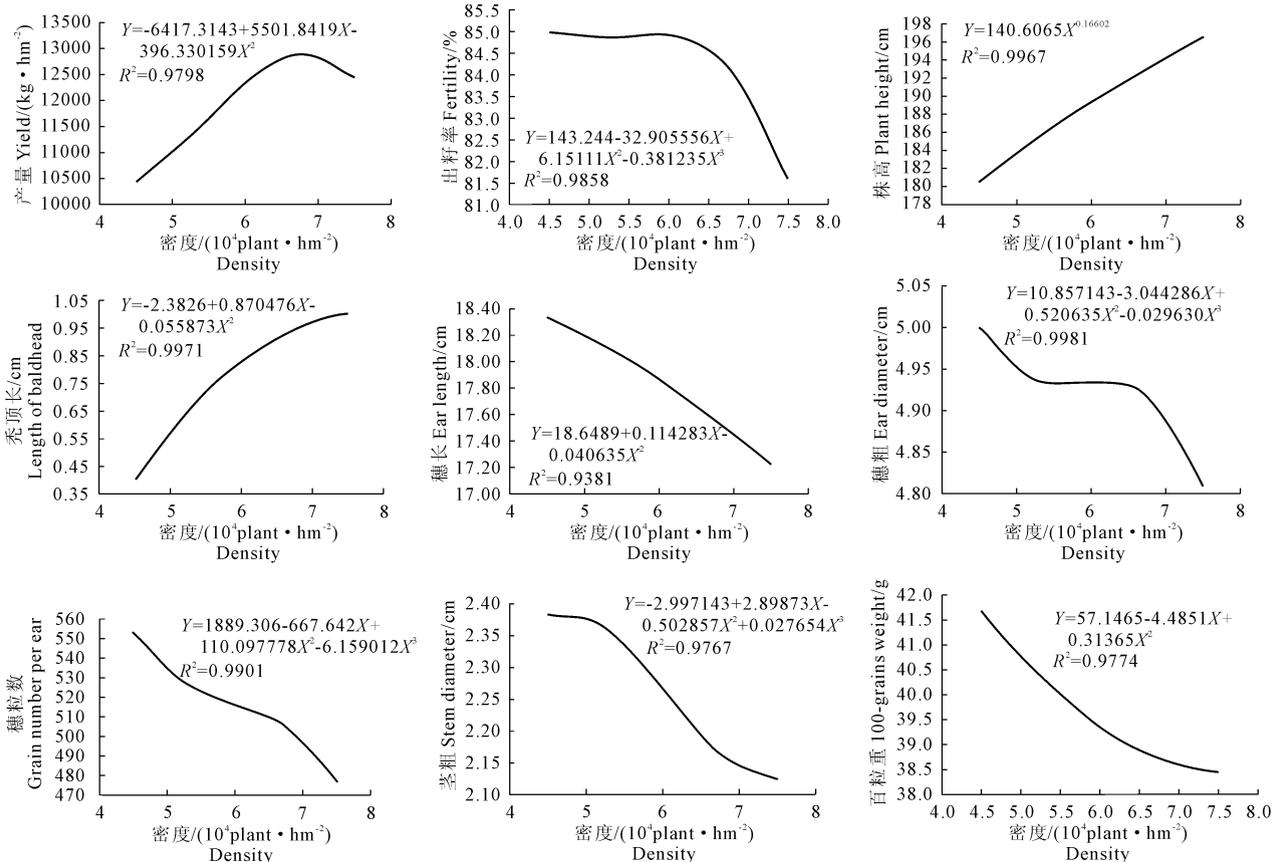


图 1 密度与植株性状及产量的回归函数曲线

Fig.1 Curves of regression function on density with plant characters and yield

玉米出籽率和密度之间为负相关。出籽率和密度的模型函数曲线为  $Y = 143.244 - 32.906X + 6.151X^2 - 0.381X^3$ , 出籽率随密度变化的曲线如图

1 所示。在试验密度区间内, 出籽率随密度的增加而降低, 在低密度时降低幅度较小, 而在密度 6.5 ~ 7.5 万株·hm<sup>-2</sup>的范围则呈单边下降的趋势。平均

出籽率由 85.03% 逐渐下降到 81.7%, 降低 3.33%。不同密度处理出籽率的 CV 为 3.25%, 是几个性状

中最低的, 这表明出籽率对于一个品种来说, 是个比较稳定的农艺性状。

表 7 密度与植株及产量性状指标模型函数分析结果

Table 7 Analysis results of model function on density with plant and yield traits index

因变量 Dependent variable	模型函数方程式 Equation of model function	相关系数 $r$	决定系数 $R^2$ Determination coefficient	$F$ 值 $F$ value	$P$ 值 $P$ value	因变量最大(小)值与极值 Dependent variable		拐点值 Knee point value		
						最大(小)值 The maximum (minimum) value	极值 Extreme value		极点值 X 值 Extreme value X	X
产量 Yield	$Y = -6417.314 + 5501.842X - 396.330X^2$	0.88 *	0.9798	48.531	0.0202	13024.2 *	12676.8 *	6.941		
株高 Plant height	$Y = 140.607X^{0.16602}$	1.00 * *	0.9967	901.410	0.0001	196.5 *	—	—		
秃顶 Length of baldhead	$Y = -2.3826 + 0.871X - 0.056X^2$	0.97 * *	0.9971	345.413	0.0029	1.00 *	1.0031 *	7.790		
穗长 Ear length	$Y = 18.649 + 0.114X - 0.041X^2$	-0.96 *	0.9381	15.158	0.0619	18.31 *	18.73 *	1.406		
穗粗 Ear diameter	$Y = 10.857143 - 3.044286X + 0.520635X^2 - 0.029630X^3$	-0.92	0.9981	177.0	0.0552	4.81 5.0 *	4.9328 4.9344 *	5.6173 6.0968	5.8571	4.9336
穗粒数 Grain number per ear	$Y = 1889.306 - 667.642X + 110.1X^2 - 6.159X^3$	-0.98 * *	0.9901	33.391	0.1264	553.8	—	—	5.9586	517.11
茎粗 Stem diameter	$Y = -2.997 + 2.899X - 0.503X^2 + 0.028X^3$	-0.97 * *	0.9767	13.978	0.1936	2.12 2.38 *	2.1231 2.3899 *	4.7201 7.4025	6.0613	2.2565
百粒重 100-grain Weight	$Y = 57.147 - 4.485X + 0.314X^2$	-0.96 * *	0.9774	43.234	0.0226	38.35 *	38.4354 *	7.7238		
出籽率 Fertility	$Y = 143.244 - 32.906X + 6.151X^2 - 0.381X^3$	-0.82 *	0.9858	23.166	0.1513	81.66 85.03 *	84.8395 84.9320 *	4.9854 5.7711	5.3782	84.8857

注: \* 因变量的最(小)大值为观测值, 极值由自变量观察值与极值代入方程求得, 方程因变量(最)极大值为标 \* 号者, 未标 \* 者为最(极)小值。

Note: The maximum (or minimum) value of dependent variable is observation value, the extremum is obtained by independent observations and extremum generated into the equation. The results with \* means maximum value of dependent variable and the results without \* means minimum value of dependent variable.

### 3 讨论

1) 从表 7 及图 1 密度与玉米植株及产量性状指标的回归模型来看密度对其它性状的影响, 以二次或三次曲线为多, 密度与产量、百粒重、秃顶长、穗长的关系呈二次回归曲线的关系, 其中密度与产量的方程在试验设计密度范围内有极大值, 在密度  $X = 6.941$  万株  $\cdot$   $hm^{-2}$  时产量有极大值  $12\ 676.8$   $kg \cdot hm^{-2}$ , 秃顶长、穗长、百粒重则无极值, 秃顶长与密度之间为正相关, 玉米秃顶随密度的增加而增长, 最小(最大)值在密度的最小(最大)值处。穗长、百粒重与密度之间为负相关, 都随密度的增加而减少, 最小(最大)值在密度的最大(最小)值处。株高是玉米植株长势的重要指标, 密度与株高拟合呈幂模型方程, 为自变量闭区间上的单调增函数, 在试验密度范围内, 株高随密度的增加呈单边上升的变化趋势。穗粗、穗粒数在试验设计的密度区间内都随密度的增加而呈下降趋势的三次曲线(表 7)(图 1)。两者

的最大(最小)值均对应最小(最大)的密度处理。两者随密度变化的曲线形状很相似, 主要原因是穗粗、穗粒数之间为高度正相关关系  $R = 0.96 * *$  (表 1), 这一结论与笔者以前研究结果一致<sup>[11]</sup>。茎粗、出籽率两个性状则随密度的增加而呈下降趋势(表 7, 图 1), 均为极显著负相关。随着密度的增加, 出籽率下降, 茎粗变细。综上所述, 在本试验所设密度范围内随着密度的增加, 玉米植株呈现株高变高, 茎粗变细, 秃顶长增加, 穗粗变细, 穗长变短, 穗粒数、百粒重下降的趋势, 这与赵杨等<sup>[12]</sup>研究的结果相近。

2) 大田玉米产量的形成是穗数、穗粒数、粒重共同作用的结果。从本试验来看, 穗数随密度的增加而增加, 穗粒数和粒重则随密度的增加而下降, 找到三者的最佳结合点, 使田间有较为合理的群体绿叶叶面积, 植株个体和群体的生长结构、物质积累较为合理才能获得高产。通过对本试验密度与产量拟合的二次回归函数方程的分析可知, 玉米的产量随着密度的增大而增加; 当密度达到一定程度之后, 随

着密度的增加,产量反而下降,在密度  $X = 6.941$  万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 时产量有极大值  $12\,676.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,即本试验所设密度范围内获得最高产量的密度在6.941万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右。将此密度值代入密度与各性状的函数模型中求得的植株性状指标为:穗粒数为499.9粒、百粒重为38.63 g、出籽率为83.71%、穗长为17.5 cm、株高194 cm、茎粗2.14 cm、秃顶长1 cm。这说明增加产量最直接有效的途径是增加穗数(即种植密度),但密度的增加必然引起群体小气候条件的恶化,使穗粒数、粒重下降,所以在一定的密度范围内,群体产量随着密度的增加而增加,超过一定范围增加密度可能导致产量降低。合理的种植密度可使个体和群体生长发育协调发展,也说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,而是决定于各项生理指标的适度即群体结构性能的优劣<sup>[12-13]</sup>。

3) 本试验密度处理设置的中间水平是参考当地大田玉米常规栽培中采用的密度。从产量结果来看,产量极大值对应的密度值在6.941万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 处,高于中间值,接近于密度处理的最大值,说明在双垄全膜沟播栽培条件下,由于其良好的增墒、保墒、增温等效应<sup>[4,14-16]</sup>,合理密植是全膜双垄沟播栽培模式获得高产的有效途径之一,也是良种配套良法的关键措施和构建高产群体的最基本条件,这一点应当在大田生产中引起重视。

**致谢:**陈刚同志对本文英文翻译方面给予了支持,谨致谢忱。

#### 参考文献:

- [1] 佟屏亚,程延年.玉米密度与产量因素关系的研究[J].北京农业科学,1995,(1):28-31.
- [2] 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,2000,18(4):322-324.
- [3] 赵化春,韩萍.玉米栽培的适宜密度问题[J].玉米科学,2001,11(增刊):34-38.
- [4] 赵凡.旱地玉米全膜覆盖双垄面集雨沟播栽培技术[J].甘肃农业科技,2004,(11):23-24.
- [5] 陈士宾.农业系统工程[M].兰州:甘肃民族出版社,1990:48-91.
- [6] 北京农业大学.高等数学[M].北京:农业出版社,1978:37-110.
- [7] 孙锐,彭畅,丛艳霞,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.
- [8] Zhang J W, Hu C H, Wang K J, et al. Effects of plant density on forage nutritive value of whole plant corn[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004,3(11):842-848.
- [9] 四川农业大学.作物栽培学(各论)[M].贵阳:贵州科技出版社,1992:205-215.
- [10] 张新,王振华,宋中立,等.郑单21不同密度与产量及构成因素关系的研究[J].玉米科学,2005,13(1):106-107.
- [11] 赵凡,金胜利,张光全,等.旱地全膜双垄沟播栽培条件下玉米穗部性状的数量关系研究[J].干旱地区农业研究,2011,(6):79-85.
- [12] 赵杨,钱春荣,王俊河,等.不同种植模式对玉米产量与农艺性状影响分析[J].中国农学通报,2012,28(9):106-109.
- [13] 靳小利,杜雄,刘佳丽,等.黄淮海平原北部高产夏玉米群体生理指标研究[J].玉米科学,2012,20(1):79-83.
- [14] 赵凡.玉米双垄面集雨全膜覆盖技术优势及应用前景[J].耕作与栽培,2005,(6):62-63.
- [15] 赵凡.玉米双垄全膜模式土壤水分与降水的灰色关联分析及水分利用率研究[J].干旱地区农业研究,2009,(1):89-94.
- [16] 赵凡,崔增团.高海拔旱作农业区全膜双垄沟播玉米肥料效应研究[J].甘肃农业大学学报,2013,48(4):62-68.

(上接第81页)

- [14] 董玉琛,曹永生,张学勇,等.中国普通小麦初选核心种质的产生[J].植物遗传资源学报,2003,4(1):1-8.
- [15] Azhdari G, Tavili A, Zare M A. Effects of various salts on the germination of two cultivars of *Medicago sativa*[J]. Frontiers of Agriculture In China, 2010,(1):63-68.
- [16] 晋丽娟,张文辉,王涛. NaCl胁迫对花棒种子萌发的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):150-153.
- [17] 肖望,黄日旺,刘映莲,等. NaCl胁迫对冬瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J].种子,2009,28(8):93-96.
- [18] 宋兆伟,郝丽珍,文静,等. NaCl对斧翅沙芥种子萌发的影响[J].华北农学报,2010,25(2):172-177.
- [19] 孟红梅,韩多红,李彩霞,等. NaCl胁迫对板蓝根种子萌发的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(1):213-216.
- [20] 张军,赵团结,盖钧镒,等.中国东北大豆育成品种遗传多样性和群体遗传结构分析[J].作物学报,2008,34(9):1529-1536.
- [21] Hao Chenyang, Wang Lanfen, Zhang Xueyong, et al. Genetic diversity in Chinese modern wheat varieties revealed by microsatellite markers[J]. Science in China Series C - Life Science, 2006,49(3):218-226.
- [22] 赵亮,田纪春.山东省不同年代小麦推广品种遗传多样性的 AFLP分析[J].分子植物育种,2007,5(3):403-411.
- [23] 文雁成,王汉中,沈金雄,等.用 SRAP 标记分析中国甘蓝型油菜品种的遗传多样性和遗传基础[J].中国农业科学,2006,39(2):246-256.
- [24] 孙建,张秀荣,张艳欣,等.中国芝麻主要品种遗传多样性特点及遗传基础演变[J].中国农业科学,2009,42(10):3421-3431.
- [25] 孙建,刘红艳,赵应忠,等.芝麻种质资源叶绿素含量的多样性分析[J].江西农业学报,2009,21(12):5-9.
- [26] 孙建,张秀荣,张艳欣,等.不同株型芝麻种质湿害后产量性状研究及耐湿性评价[J].植物遗传资源学报,2010,11(2):139-146.
- [27] 周红英,孙建,饶月亮,等.芝麻种质资源茎点枯病抗性鉴定研究[J].江西农业学报,2013,25(10):57-59.