

种植密度对夏谷农艺性状及产量的影响

颜丽美, 李国瑜, 邹仁峰, 李妮, 丛新军* (泰安市农业科学研究院, 山东泰安 271000)

摘要 [目的]研究不同种植密度对夏谷农艺性状及产量的影响。[方法]以金选6号为试验材料,采用随机区组设计,共设置6个密度处理,分别为30万、60万、90万、120万、150万、180万株/hm²,分析金选6号的农艺性状、经济性状和抗倒性。[结果]随着密度的增大,植株的株高、茎粗、茎干重、穗长、穗粗、植株干重、穗重、穗粒重、出谷率、千粒重均呈逐渐减小趋势,处理间的差异达极显著水平。谷子产量随密度的增大先增加后减小,当密度为90万株/hm²时,产量达最大值6 038.01 kg/hm²,密度为60万株/hm²时次之,且两者差异不显著。通过SPSS曲线回归获得的二次曲线模型 $Y = 4\,762.081 + 27.812x - 0.161x^2$ 为描述谷子种植密度与产量关系的最优模型,当 $x = 86$ (密度约为86万株/hm²)时,谷子理论产量最大为5 963.16 kg/hm²,与实测的最适种植密度基本一致。[结论]金选6号最佳种植密度为60万~90万株/hm²。

关键词 夏谷;密度;农艺性状;产量

中图分类号 S515.062 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)12-0012-03

Effects of Planting Density on Agronomic Characters and Yield of Summer Foxtail Millet

YAN Li-mei, LI Guo-yu, ZOU Ren-feng, CONG Xin-jun* et al (Tai'an Academy of Agricultural Sciences, Tai'an, Shandong 271000)

Abstract [Objective] Effects of different planting density on agronomic characters and yield of summer foxtail millet were studied. [Method] Jinxuan 6 was used as material. Six density (30×10^4 , 60×10^4 , 90×10^4 , 120×10^4 , 150×10^4 , 180×10^4 plants/hm²) were set by randomized block design to explore agronomic characters, economic characters, and lodging resistance of Jinxuan 6. [Result] The plant height, stem diameter, stem dry weight, spike length, spike diameter, plant dry weight, spike weight, grains weight per spike, percentage of grain weight and thousand grain weight decreased gradually with the increase of density. And the difference between treatments was significant. The yield of foxtail millet increased first and then decreased with the increase of density. The yield reached to maximum 6 038.01 kg/hm² when the density was 90×10^4 plants/hm², while the density 60×10^4 plants/hm² next. And the difference between the two was not significant. By curvilinear regression analysis with SPSS, the quadratic curve model $Y = 4\,762.081 + 27.812x - 0.161x^2$ was the suitable model to describe the relationship between planting density and yield. When the density was 86×10^4 plants/hm² the yield reached to maximum 5 963.16 kg/hm². The suitable theoretical density was basically consistent with the actual one. [Conclusion] The suitable planting density of Jinxuan 6 was 60×10^4 plants/hm² to 90×10^4 plants/hm².

Key words Summer foxtail millet; Density; Agronomic characters; Yield

谷子[*Setaria italica* (L.) Beauv]起源于我国黄河流域,具有抗旱耐瘠、水分利用率高、适应性广、营养价值丰富等特点,是我国北方地区主要的粮食作物之一,被列为小杂粮之首^[1-3]。产量是衡量品种最重要的指标,谷子产量的提高不仅需要品种的改良,更需要良种与良法相配套,才能充分发挥良种的增产潜力^[4-5]。密度是影响谷子产量的重要因素。谢贵宁等^[6]研究了不同栽培密度与产量的关系,结果表明谷子的栽培密度与产量关系十分密切,对提高产量有显著作用。韩芳等^[7]探究了密度与施肥水平对谷子生长农艺性状及产量的影响,得出了生长07的最佳密度施肥组合。刘恩魁等^[8-9]、郭瑞锋等^[10]通过研究春谷种植密度与产量的关系,认为谷子籽粒产量随着种植密度的增大呈先升后降的趋势,并构建谷子密度与产量关系的最优模型。由于各生态区之间地理环境差异较大,不同谷子品种的适宜栽培密度也较为不同,因此,在前人研究结果的基础上,深入探索种植密度对金选6号农艺性状及产量的影响,并绘制出密度与产量的最佳拟合模型,以确定金选6号在泰安地区的最适种植密度,为建立当地生态区谷子高产高效栽培技术体系奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 谷子品种为金选6号,由泰安市农业科学研究院小作物所提供。

1.2 试验方法 试验于2016年在泰安市农业科学研究院试验基地进行。共设计6个密度处理:30万、60万、90万、120万、150万、180万株/hm²,依次编号为“M1—M6”。小区面积12 m²(行长5.0 m,行距0.4 m,6行区),3次重复,随机区组排列。五叶期定苗,成熟期计算植株的倒伏率。随机选取长势较一致的1.0 m行长进行室内考种,调查株高、茎长(基部第3节)、茎粗(基部第3节)、茎干重(基部第3节)、穗长、穗粗、植株干重、穗重、穗粒重、出谷率、千粒重等性状,除去小区边行及两头各0.5 m,实际收获小区面积6.4 m²,并折合计算产量。其他管理措施同大田。

1.3 数据分析 采用Microsoft Excel 2013 进行数据处理,SPSS 20.0 数据处理软件进行方差分析、相关性分析及回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度处理对谷子农艺性状的影响 由表1可以看出,随着密度的增大,谷子的株高、茎长、茎粗、茎干重、穗长、穗粗、植株干重均呈逐渐减小的趋势,除茎长外,处理间差异极显著。密度与株高、茎长、茎粗、穗长和穗粗极显著负相关,相关系数依次为-0.957**、-0.960**、-0.989**、-0.952**、-0.957**;与茎干重和植株干重显著负相关,相关系数分别为-0.905*、-0.908*。

基金项目 山东省农业良种工程项目(2013);泰安市农业良种工程项目(2012);山东省现代农业产业技术体系杂粮创新团队专项(SDAIT-15-09)。

作者简介 颜丽美(1989—),女,山东济宁人,助理农艺师,硕士,从事谷子遗传育种和栽培研究。*通讯作者,高级农艺师,从事谷子遗传育种和栽培研究。

收稿日期 2017-02-06

表 1 不同密度处理对夏谷农艺性状的影响

Table 1 Effects of different density on agronomic characters of summer foxtail millet

处理 Treatment	株高 Plant height cm	茎长 Stem length cm	茎粗 Stem diameter mm	茎干重 Stem dry weight g	穗长 Spike length cm	穗粗 Spike diameter cm	植株干重 Plant dry weight g
M1	125.90 A	6.09 a	6.06 A	0.61 A	20.41 A	2.25 A	11.61 A
M2	119.14 AB	5.93 ab	5.75 A	0.45 B	17.73 B	2.05 AB	7.44 B
M3	118.31 AB	5.84 ab	5.55 AB	0.36 C	17.42 B	1.93 ABC	5.72 C
M4	114.83 B	5.75 ab	5.00 BC	0.29 C	15.88 C	1.76 BC	4.36 D
M5	109.98 B	5.73 ab	4.64 C	0.29 C	15.34 CD	1.75 BC	3.71 D
M6	110.87 AB	5.68 b	4.50 C	0.28 C	14.88 D	1.70 C	3.76 D
CC	-0.957**	-0.960**	-0.989**	-0.905*	-0.952**	-0.957**	-0.908*

注:小写字母和大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著; * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关;CC 表示与密度的相关系数
Note:Lowercase and uppercase letters mean significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively; * and ** mean significant correlation at 0.05 and 0.01 level respectively; CC means the correlation coefficient with density

2.2 不同密度处理对谷子经济性状及抗倒性的影响 由表 2 可以看出,随着密度的增大,谷子成穗率、穗重、穗粒重、出谷率和千粒重均呈逐渐减小的趋势,处理间差异极显著。密度与成穗率、穗重、穗粒重和出谷率极显著负相关,相关系数

依次为 -0.978^{**} 、 -0.924^{**} 、 -0.921^{**} 、 -0.993^{**} ;与千粒重显著负相关,相关系数为 -0.888^{*} ;与倒伏率极显著正相关,相关系数为 0.944^{**} 。

表 2 不同密度处理对夏谷经济性状及抗倒性的影响

Table 2 Effects of different density on economic characters and lodging resistance of summer foxtail millet

处理 Treatment	成穗率 Percentage of ear bearing tiller %	穗重 Spike weight g	穗粒重 Grains weight per spike g	出谷率 Percentage of grain weight %	千粒重 Thousand grain weight g	倒伏率 Lodging rate %
M1	99.50 A	22.01 A	18.67 A	84.82 A	2.63 A	0.00
M2	98.25 A	13.26 B	10.96 B	82.66 AB	2.50 B	0.00
M3	93.15 AB	9.41 C	7.61 C	80.92 BC	2.46 BC	1.39
M4	91.25 B	7.05 D	5.61 D	79.67 BCD	2.41 BC	4.86
M5	83.67 C	5.70 E	4.46 E	78.24 CD	2.42 BC	9.72
M6	78.41 C	4.49 F	3.47 F	77.16 D	2.40 C	15.28
CC	-0.978**	-0.924**	-0.921**	-0.993**	-0.888*	0.944**

注:大写字母表示在 0.01 水平上差异显著; * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关;CC 表示与密度的相关系数
Note:Uppercase letters mean significant difference at 0.01 level; * and ** mean significant correlation at 0.05 and 0.01 level respectively; CC means the correlation coefficient with density

2.3 不同密度处理对产量的影响 由表 3 可以看出,随着密度的增大,谷子产量呈先升高后降低的趋势,处理间差异达极显著水平。M3 的产量最大,达到 $6\ 038.01\ \text{kg}/\text{hm}^2$,M2 次之,且二者间差异不显著,其后产量顺序依次为: $M4 > M1$

$> M5 > M6$,M6 的产量最低,相较于 M3 低 $1\ 429.81\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。由此可见,在一定的密度范围内(稀植)谷子产量随密度的增大而增加,当密度达到一定的临界值时,继续增大反而会使产量有所降低。

表 3 不同密度处理对夏谷产量的影响

Table 3 Effects of different density on yield of summer foxtail millet

处理 Treatment	产量 Yield// kg/hm^2				标准差 Standard deviation
	I	II	III	平均 Average	
M1	5 491.92	5 364.50	5 283.58	5 380.00 cdB	105.03
M2	5 983.36	5 700.26	6 168.97	5 950.87 abA	236.04
M3	6 126.45	6 028.97	5 958.61	6 038.01 aA	84.28
M4	5 748.08	5 619.87	5 645.99	5 671.31 bcAB	67.75
M5	5 237.75	5 217.89	5 337.27	5 264.30 dB	63.97
M6	4 475.21	4 665.83	4 683.56	4 608.20 eC	115.51

注:小写字母和大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著
Note:Lowercase and uppercase letters mean significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively

根据谷子产量随密度的变化趋势作散点图,得出产量与密度的曲线拟合模型(图 1)。由表 4 可以看出,SPSS 曲线估计的

9 种数学模型中,二次曲线模型的显著值 $\text{Sig.} < 0.01$,决定系数 $R^2 = 0.972$ 、 $F = 52.617$ 均为最大值,表明该数学模型显著

有效,而其余8种数学模型的显著值 $\text{Sig.} > 0.05$,表明这些数学模型均无效,不适合模拟谷子种植密度与产量的关系。因此,选择二次曲线模型 $Y = b_0 + b_1x + b_2x^2$ (Y 为产量, x 为种植密度, b_0, b_1, b_2 为参数)来描述谷子密度与产量之间的关系。将参数估计值代入,得到二次曲线模型 $Y = 4\,762.081 +$

$27.812x - 0.161x^2$,当 $x = 86$ (密度为86万株/hm²)时,谷子理论产量最大值为5 963.16 kg/hm²。结合田间实测值与曲线分析结果可以得知,金选6号的最佳种植密度范围为60万~90万株/hm²。

表4 密度与产量的拟合曲线模型汇总和参数估计值

Table 4 The fitting curve model summary of density and yield and parameter estimates

方程 Equation	模型汇总 Model summary					参数估计值 Parameter estimates		
	R^2	F	df_1	df_2	Sig.	b_0	b_1	b_2
线性 Linear	0.407	2.747	1	4	0.173	6 113.989	- 5.986	
对数 Logarithm	0.180	0.879	1	4	0.402	7 002.312	- 337.250	
倒数 Reciprocal	0.041	0.172	1	4	0.700	5 346.160	10233.415	
二次 Quadratic curve	0.972	52.617	2	3	0.005	4 762.081	27.812	- 0.161
复合 Composite	0.421	2.903	1	4	0.164	6 162.928	0.999	
幂 Power	0.192	0.948	1	4	0.385	7 337.699	- 0.066	
S	0.048	0.203	1	4	0.676		8.577	2.089
增长 Growth	0.421	2.903	1	4	0.164		8.726	- 0.001
指数 Exponential function	0.421	2.903	1	4	0.164	6 162.928	- 0.001	

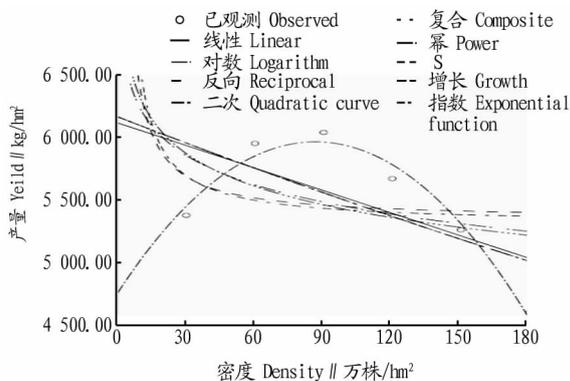


图1 拟合曲线模型汇总

Fig. 1 The fitting curve model summary

3 结论与讨论

该试验条件下,随着密度的增大,株高呈逐渐降低的趋势,而关于密度对谷子株高的影响,也有人认为株高随密度的变化趋势不明显或二者呈正相关关系^[11-12],这是由于地理环境的差异,不同品种对密度的敏感度不同,从而导致株高随密度的变化趋势不同。茎长、茎粗、茎干重、穗长、穗粗、植株干重、抗倒性等随密度的增大逐渐减小,这是因为随着密度的增大,个体植株之间相互遮挡,对光、温、水、气、肥等的竞争加剧,通风透光性降低,个体发育受到了显著影响。

密度越大,植株越细、弱,抗倒性越低,直接影响光合作用,不利于穗部灌浆,穗重、穗粒重也越低,当种植密度超过最适密度后,密度的增加已不能弥补单株产量的减少,因此总产量降低^[13-14]。当密度为90万株/hm²时,总产量达最大6 038.01 kg/hm²,密度为60万株/hm²时的产量次之,继续增大种植密度,产量降低。通过曲线模拟获得的二次曲线方程

$Y = 4\,762.081 + 27.812x - 0.161x^2$ 是描述谷子密度与产量关系的最优模型,当 $x = 86$ (密度为86万株/hm²)时,最大理论产量为5 963.16 kg/hm²,最适理论种植密度与实际密度基本一致,因此,金选6号最佳种植密度范围为60万~90万株/hm²,然而,该密度范围是否适合其他地方种植,有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 苗兴芬,杨克军,于崧,等. 不同肥料和种植密度对谷子产量的影响[J]. 中国西部科技,2015,14(12):105-107.
- [2] 袁宏安,杨清华,闫伟,等. 施氮量与留苗密度对春谷农艺性状及产量的影响[J]. 作物杂志,2015(4):138-141.
- [3] 陈素省,赵国顺,王欢,等. 留苗密度与施氮量对不同株型谷子生长发育及产量的影响[J]. 河北农业科学,2012,16(7):1-5,10.
- [4] 秦岭,杨延兵,管延安,等. 施氮量和留苗密度对不同株型谷子产量及产量相关性状的影响[J]. 山东农业科学,2013,45(5):60-63.
- [5] 黄瑞,王凯玺,刘景云. 种植密度对谷子生物学性状和产量的影响研究[J]. 现代农业科技,2011(8):44-45.
- [6] 谢贵宁,张雁平. 谷子不同栽培密度与产量的关系[J]. 贵州农业科学,1997,25(S1):39.
- [7] 韩芳,韩浩坤,郭玮,等. 密度与施肥水平对谷子生长 07 农艺性状及产量的影响[J]. 河北农业科学,2015(5):4-8.
- [8] 刘恩魁,段喜顺,刘红霞,等. 春谷种植密度与产量的数量关系及其分析[J]. 中国农学通报,2013,29(30):118-123.
- [9] 刘恩魁,刘环,张德荣,等. 谷子种植密度对产量的影响[J]. 农业科技通讯,2013(3):71-75.
- [10] 郭瑞锋,任月梅,杨忠,等. 春谷早熟区谷子种植密度对植株性状及产量的影响研究[J]. 农学报,2015,5(9):7-11.
- [11] 庄云,马尧,牟金明. 密度对谷子生长及产量性状的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(36):11795,11866.
- [12] 栾素荣,张玲,王艳芝,等. 种植密度对常规谷子产量及群体特征的影响[J]. 河北农业科学,2013,17(3):1-5.
- [13] 刘正理,程汝宏,张凤莲,等. 不同密度条件下3种类型谷子品种产量及其构成要素变化特征研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):135-138.
- [14] 张林武,李仁崑. 不同密度对不同品种谷子产量的影响[J]. 农业科技通讯,2013(9):40-43.