

种植密度对不同玉米品种茎秆性状及产量的影响

李峰 闫秋艳* 鲁晋秀 杨峰 董飞 王苗 贾亚琴

(山西省农业科学院 小麦研究所,山西 临汾 041000)

摘要 为探索晋南地区玉米适宜的栽培品种和种植密度,以‘先玉335’、‘郑单958’和‘浚单20’3个玉米品种为试验材料,设置7个密度处理,4.50、5.25、6.00、6.75、7.50、8.25和9.00万株/hm²,分析小麦-玉米一年两熟制条件下,不同种植密度对晋南夏玉米茎秆及产量等性状。结果表明:随着玉米种植密度的增加,株高和穗位高均增加,茎粗减小,倒伏率呈现增加趋势。同密度条件下,‘郑单958’的倒伏率低于‘先玉335’和‘浚单20’。‘先玉335’、‘郑单958’和‘浚单20’在种植密度为7.50、8.25和9.00万株/hm²获得最大产量分别为11034、8668和8456 kg/hm²。随着种植密度增加,玉米单位面积穗数增加,而穗长、穗粗、行粒数和百粒重均降低,但对穗行数的影响不显著。综合茎秆性状和产量结果看,‘先玉335’种植密度为6.75~8.25万株/hm²时,可取得较好生产效益。

关键词 夏玉米; 品种; 密度; 茎秆性状; 产量及构成因素

中图分类号 S143.1;S513.01

文章编号 1007-4333(2019)11-0008-08

文献标志码 A

Effect of planting density on the stem characteristics and yield of summer maize

LI Feng, YAN Qiuyan*, LU Jinxiu, YANG Feng, DONG Fei, WANG Miao, JIA Yaqin

(Institute of Wheat Research, Shanxi Academy of Agricultural Science, Linfen 041000, China)

Abstract To explore suitable cultivars and planting density for maize in south of Shanxi Province. Effects of planting density on the stalk characteristics and yield of summer maize cultivar ‘Xianyu 335’, ‘Zhengdan 958’ and ‘Xundan 20’ were investigated. The experiment involving 7 planting densities (4.50×10^4 , 5.25×10^4 , 6.00×10^4 , 6.75×10^4 , 7.50×10^4 , 8.25×10^4 and 9.0×10^4 plant/hm²) of maize were conducted. The results showed that: Plant height and ear height increased with the increase of planting density, while the stem diameter decreased and lodging rate increased; Under the same density condition, the lodging rate of ‘Zhengdan 958’ is lower than that of ‘Xianyu 335’ and ‘Xundan 20’. The maximize yield of ‘Xianyu 335’, ‘Zhengdan 958’ and ‘Xundan 20’ were 11 034, 8 668 and 8 456 kg/hm² when the planting densities were 7.50×10^4 , 8.25×10^4 and 9.00×10^4 plant/hm², respectively. With the increase of planting density, the number of ears per unit area increased, while ear length, ear diameter, kernels per row and 100-kenel weight decreased. According to the results of comprehensive traits of stem and yield, the planting density of ‘Xianyu 335’ with the planting density ranged from 6.75 to 8.25×10^4 plant/hm² is preferable for maize production.

Keywords summer maize; variety density; stalk characteristics; yield and its components

玉米是我国主要粮食作物之一。增加种植密度是挖掘玉米增产潜力的措施之一,也是当前玉米栽培的发展趋势^[1]。但是,当种植密度增加到一定程度会影响玉米的茎秆性状,如株高和穗位高变高、茎

粗变细和茎秆强度降低等,最终导致玉米茎秆抗倒伏能力降低,增加玉米倒伏的几率,从而影响玉米的产量^[2]。在不同的生态气候条件下,种植密度对茎秆性状的影响存在很大差异,产量也不尽相同^[3]。

收稿日期: 2018-12-12

基金项目: 农业产业发展科技引领工程(2018CYYL-04); 山西省重点研发计划重点项目(201703D211002-5)

第一作者: 李峰,副研究员,主要从事作物栽培生理研究。E-mail: sxxmslf@163.com

通讯作者: 闫秋艳,副研究员,主要从事植物营养及栽培生理研究。E-mail: sxnkyqy@163.com

张凤启等^[4]指出‘郑单 958’和‘浚单 20’在种植密度为 9.0 万株/hm² 时产量最高,‘先玉 335’在种植密度为 6.0 万株/hm² 时产量最高。王楷等^[5]认为‘郑单 958’在种植密度为 10.5 万株/hm² 产量达到最高。总体上,在稳定的单穗粒重或单穗粒重稍有减轻的条件下增加种植密度、合理密植是今后超高产栽培的发展趋势^[6]。玉米品种对密度的适应能力在不同生态环境下也会不同^[7]。因此,研究不同品种不同密度下玉米的产量变化及生长规律,对确定适宜当地生产的合理密度具有重要意义。关于山西省晋南地区玉米品种和种植密度方面的研究鲜有报道。

本研究针对山西省晋南地区小麦-玉米两作区的生态条件和生产实际,以‘先玉 335’、‘郑单 958’和‘浚单 20’等 3 个主栽玉米品种为试验材料,分析不同密度下玉米的茎秆特性及产量变化规律,旨在找到适宜本地区的高产栽培种植密度,以期为建立小麦-玉米轮作区玉米高产栽培技术体系及示范推广提供理论依据和技术支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2015 和 2016 年在山西省临汾市尧都区韩村试验基地进行,试验地常年以冬小麦-夏玉米一年两熟种植模式为主。属亚热带湿润季风气候,年平均气温 16.7 °C,年降水量 450 mm,无霜期 286 d,临汾市 2015 和 2016 年玉米生长季的月平均降雨量和气温见表 1。试验地土壤类型为石灰性褐土,耕层(0~20 cm)土壤基础肥力 pH 为 8.11、有机质 15.20 g/kg、EC 值 141.40 μs/cm、全氮 1.68 g/kg、碱解氮 78.89 mg/kg、有效磷 11.64 mg/kg、速效钾 110.0 mg/kg。

表 1 2015 和 2016 年试验地玉米生长季(7—9 月) 月份降雨量和气温情况

Table 1 Distribution of monthly precipitation and average temperature at the experimental sites in 2015 and 2016

月份 Month	降雨量/mm Precipitation		平均气温/°C Average temperature	
	2015	2016	2015	2016
	7	41.2	149.7	27.7
8	25.4	43.1	26.2	27.9
9	25.8	11.7	21.7	22.8
合计 Total	109.7	187.2	25.2	26.0

1.2 试验设计

供试玉米品种为‘先玉 335’、‘郑单 958’和‘浚单 20’。设置 4.50 万株/hm² (株距 35.7 cm)、5.25 万株/hm² (株距 30.0 cm)、6.00 万株/hm² (株距 26.8 cm)、6.75 万株/hm² (株距 23.8 cm)、7.50 万株/hm² (株距 21.4 cm)、8.25 万株/hm² (株距 19.5 cm)、9.00 万株/hm² (株距 17.8 cm) 7 个密度处理。采用随机区组设计,每处理 3 次重复,每个小区面积为 2.5 m×20 m,各处理行距均为 60 cm,各处理田间管理一致。

1.3 测定项目与方法

在玉米成熟期测量茎秆性状,每个小区选取有代表性植株 10 株,测量株高、穗位高和茎粗(采用电子数显游标卡尺测量)。在成熟期各处理选取有代表性植株,采集果穗 20 个,测定穗长、穗粗、穗行数和行粒数,风干脱粒测量百粒重。每小区选取 6.66 m² 进行产量测定,根据小区产量折算亩产量。

1.4 数据与分析

试验数据经 Microsoft Excel 2007 软件计算、绘图。用 SPSS 17.0 软件进行差异显著性检验。

2 结果和分析

2.1 茎秆性状

随种植密度增加,玉米株高在 3 个品种间的变化趋势不一致(表 2)。2015 年,种植密度在 4.50~6.65 万株/hm²,‘先玉 335’株高处理间差异不显著。2016 年,种植密度为 6.00 和 6.65 万株/hm²,‘先玉 335’株高显著高于其他处理。密度在 7.50~9.00 万株/hm² 时,处理间差异不显著,且低于种植密度为 4.50~6.75 万株/hm² 处理。‘郑单 958’的株高随着种植密度增加而呈增加趋势不明显,密度在 6.00~8.25 万株/hm² 时,获得较高的株高。‘浚单 20’株高随种植密度的增加呈增加趋势。

‘先玉 335’和‘郑单 958’均表现为穗位高随种植密度增加呈增加趋势,直到种植密度为 9.0 万株/hm² 时,穗位高不再增加。而‘浚单 20’穗位高随种植密度增加呈持续增加趋势。3 个品种茎粗均随着种植密度增加呈下降趋势。‘先玉 335’、‘郑单 958’和‘浚单 20’的茎粗极差(最高值-最低值)分别为 6.77、5.00 和 5.33 mm(表 2)。

2015 和 2016 年,随着种植密度增大,3 个玉米品种的倒伏率均呈增加趋势。种植密度最大时,

表 2 2015 和 2016 年不同种植密度下玉米品种的茎秆性状
Table 2 Stem characteristics of summer maize under different planting densities in 2015 and 2016

品种 Variety	种植密度/ (万株/hm ²) Plant density	2015			2016		
		株高/cm Plant height	穗位高/cm Ear height	茎粗/mm Stem diameter	株高/cm Plant height	穗位高/cm Ear height	茎粗/mm Stem diameter
先玉 335	4.50	336.65±2.34 a	131.15±3.12 b	25.22±0.12 a	297.00±3.24 b	110.00±4.09 c	24.22±0.32 a
	5.25	332.94±3.12 ab	131.45±3.56 b	24.98±0.23 b	303.67±4.56 b	110.67±3.11 c	23.98±0.14 a
	6.00	335.52±5.61 a	134.21±6.12 b	24.02±0.45 b	310.00±5.12 a	113.33±1.44 c	23.02±0.25 b
	6.75	335.31±6.71 a	135.11±7.01 b	20.81±0.11 c	312.67±6.02 a	121.67±2.14 b	21.81±0.27 c
	7.50	327.93±3.21 bc	143.42±5.45 a	19.79±0.13 d	286.33±3.32 c	127.00±2.05 a	20.79±0.08 c
	8.25	327.94±2.56 bc	143.41±5.32 a	18.01±0.09 d	294.33±3.32 c	127.00±1.23 a	19.01±0.11 d
	9.00	330.24±1.23 b	140.51±4.21 a	17.45±0.19 e	302.00±1.98 bc	123.00±5.16 ab	18.45±0.21 d
	4.50	274.23±2.13 b	118.55±4.15 c	25.78±0.14 a	261.33±5.06 b	123.33±2.31 c	25.62±0.24 a
	5.25	269.46±2.14 c	124.61±2.11 c	25.76±0.14 a	259.33±5.43 b	124.33±3.12 c	25.19±0.21 a
郑单 958	6.00	279.05±4.51 b	131.12±2.33 b	25.19±0.31 a	272.33±3.21 ab	135.33±3.14 b	24.76±0.09 ab
	6.75	274.05±6.64 b	134.13±4.15 b	23.87±0.09 b	270.00±2.14 ab	132.00±3.14 b	24.17±0.82 b
	7.50	287.25±7.08 a	141.05±5.06 a	23.42±0.19 b	269.33±2.10 ab	135.00±5.04 b	23.62±0.12 b
	8.25	271.11±5.03 bc	133.95±6.02 b	22.62±0.08 c	276.67±1.78 a	141.00±4.08 a	22.31±0.22 c
	9.00	270.45±4.41 c	132.11±3.09 b	21.34±0.11 d	254.67±4.05 bc	137.00±3.11 b	21.06±0.23 d
	4.50	282.61±3.11 b	125.55±3.04 d	24.14±0.41 a	251.67±4.06 bc	111.67±3.11 c	24.90±0.09 a
	5.25	291.72±4.05 b	139.13±2.24 c	24.07±0.09 a	253.00±5.11 b	111.87±2.14 c	23.98±0.18 a
	6.00	295.60±5.04 ab	143.05±1.98 c	23.90±0.19 a	256.33±3.41 b	113.27±1.98 c	23.14±0.07 ab
	6.75	295.85±5.10 ab	150.23±3.11 b	22.33±0.34 b	256.33±2.19 b	122.67±3.11 b	22.09±0.88 b
浚单 20	7.50	303.54±2.45 a	151.15±4.07 b	20.05±0.21 c	270.67±1.19 a	130.00±2.01 a	21.05±0.12 b
	8.25	306.22±3.10 a	158.16±5.01 a	19.54±0.08 c	271.00±4.31 a	136.33±1.94 a	20.11±0.24 b
	9.00	307.43±2.11 a	159.21±3.11 a	19.04±0.11 c	272.67±4.22 a	138.33±1.98 a	19.34±0.24 c

注:同列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: Values within each column followed by the different letters show significant difference ($P < 0.05$).

‘浚单 20’的倒伏率最大,‘先玉 335’次之。相同密度条件下,‘郑单 958’的倒伏率低于‘先玉 335’和‘浚单 20’(图 1)。

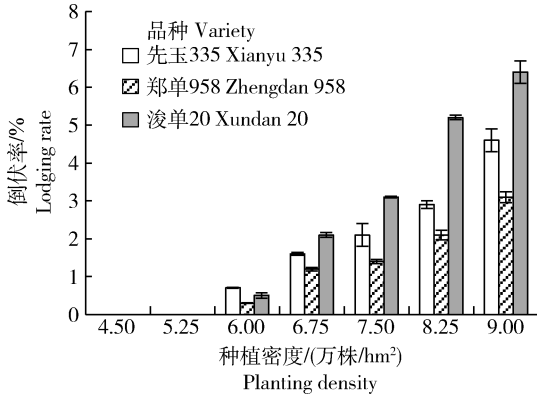


图 1 3 个玉米品种在不同种植密度下的倒伏率

Fig. 1 Lodging rate of the three summer maize under different planting densities in 2015 and 2016

2.2 产量及构成因素

表 3 可知,‘先玉 335’产量随种植密度的增加呈先增加后降低的趋势,产量最大值出现在 7.50 万株/hm²。‘郑单 958’产量随种植密度表现为阶段性增加,产量在 4.50~6.00 万株/hm² 播种密度时显著低于其他高密度处理,6.75~7.50 万株/hm² 产量次之,8.25~9.00 万株/hm² 产量较高。‘浚单 20’产量在 4.50~6.00 万株/hm² 差异不显著,7.5~8.25 万株/hm² 产量增加,9.00 万株/hm² 时产量最高。此外,种植密度对产量构成因素穗粗、穗长、穗行数、行粒数和百粒重影响达到差异显著水平 ($P < 0.05$)。穗长、穗粗、行粒数和百粒重均随种植密度增加而降低。种植密度对穗行数的影响差异不显著。随种植密度增加,单位面积穗数增加。相同种植密度下,‘先玉 335’的产量高于‘郑单 958’和‘浚单 20’。

2.3 玉米茎秆性状、产量及构成因素和种植密度的相关关系

种植密度与穗位高、茎粗、穗粗、穗长、百粒重、行粒数和穗数因素达到极显著相关 ($P < 0.01$),其中,种植密度与穗位高、穗长和穗数呈正相关,而与茎粗、穗粗、百粒重、行粒数呈负相关关系。种植密度与产量呈正相关,但差异不显著。株高与产量间呈极显著相关。茎粗、穗粗与产量间呈极显著负相关。穗位高、穗长和穗行数与产量间呈正相关,但差异不显著(表 4)。

3 讨论

玉米种植密度能显著影响茎秆株高和茎粗^[11]。已有研究表明,株高、穗位高均随着种植密度的增加逐渐增加,而茎粗逐渐降低^[12]。本试验得出的研究结果与刘晓林等^[2]和谷丽敏等^[10]研究结果基本一致,茎秆的倒伏率与茎秆性状直接相关。结果表明,‘郑单 958’属于比较耐密的品种,倒伏率相对较低,而且当密度达到 9.00 万株/hm² 时,株高随种植密度的增加而增加。随种植密度增加,‘浚单 20’倒伏的风险增加。田再民等^[4]研究结果显示种植密度 9.00 万株/hm² 时,‘先玉 335’、‘郑单 958’和‘浚单 20’的倒伏率分别为 3.4%、4.7%和 10.6%。这与本研究结果基本一致。一方面,增加玉米种植密度,植株个体间的竞争加剧,可能导致植株个体营养缺乏,单株干物质重下降,茎秆整体韧性和强度降低,最终导致玉米植株抗倒伏能力下降^[8]。其次,随种植密度增加,玉米节间长逐渐增大^[15]。而节间长粗比小、茎粗系数大的玉米植株抗倒伏能力强^[13]。

玉米株高是反应抗倒伏能力的一个重要指标^[14]。一般来讲,株高会随种植密度增加而增加^[15]。本研究结果显示,‘先玉 335’株高呈先低后高再低的变化趋势,2 年结果显示达到最高株高的种植密度不一致。‘郑单 958’的株高随着种植密度增加有不规则的增加趋势,密度在 6.00~8.25 万株/hm² 时,获得较高的株高。‘浚单 20’株高随种植密度的增加呈增加趋势。而且株高与产量间呈极显著正相关。刘晓林等^[2]指出玉米株高与单株产量呈不显著负相关。玉米群体产量随种植密度增加呈现先增后减,这可能与高密度下茎秆倒伏率也有一定关系。已有研究表明穗位高与玉米倒伏率呈极显著正相关^[16]。本研究中 3 个玉米品种穗位高随种植密度增加均逐渐升高,这与田再民等^[5]和侯月等^[8]研究结果一致。其中‘浚单 20’在最大种植密度为 9.00 万株/hm² 时穗位高增加程度较大,穗位高达 159.21 cm,比同密度下‘先玉 335’和‘郑单 958’穗位高出 13.3%和 20.5%。张丽宏等^[11]研究指出‘先玉 335’的适宜种植密度为 9.00~9.75 万株/hm²,且最大种植密度下,其穗位高度仅 101 cm,而本研究在最大种植密度为 9.00 万株/hm² 时,穗位高度达到 120 cm 左右。

构建合理的群体结构是玉米获得高产的关键,这就要协调产量构成三因素间的矛盾,使三者的乘

表3 不同种植密度下玉米品种的产量及构成因素

Table 3 Yield and its components of summer maize under different plant density

品种 Variety	种植密度/ (万株/hm ²) Plant density	穗粗/mm Ear diameter	穗长/cm Ear length	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	百粒重/g 100-kernel weight	每公顷穗数 Ear number per ha	产量/(kg/hm ²) Yield	
先玉 335	4.50	51.29 ± 1.23 a	20.82 ± 0.65 a	16.00 ± 0.04 a	44.00 ± 1.23 a	40.2 ± 2.13 a	457.8 ± 2.13 d	9 009 ± 123.1 c	
	5.25	51.24 ± 0.98 a	20.69 ± 0.89 a	16.00 ± 0.08 a	44.17 ± 1.11 a	39.1 ± 1.13 a	487.8 ± 1.22 c	8 991 ± 46.7 c	
	6.00	50.24 ± 1.22 b	19.34 ± 0.34 b	16.67 ± 0.11 a	40.67 ± 2.12 b	38.5 ± 1.45 b	533.4 ± 1.67 c	10 233 ± 77.2 b	
	6.75	49.06 ± 2.10 b	18.28 ± 0.08 c	16.00 ± 0.09 a	38.50 ± 3.21 b	37.8 ± 2.05 b	661.6 ± 1.09 b	10 374 ± 81.2 b	
	7.50	49.32 ± 2.19 b	18.60 ± 0.21 c	16.33 ± 0.05 a	39.00 ± 2.13 b	36.7 ± 2.09 c	652.9 ± 1.22 b	11 034 ± 101.2 a	
	8.25	48.97 ± 1.14 bc	17.68 ± 0.20 d	16.33 ± 0.08 a	37.67 ± 1.98 c	35.2 ± 1.23 c	742.6 ± 0.78 a	10 539 ± 99.2 b	
	9.00	44.23 ± 0.34 c	17.23 ± 0.34 d	16.23 ± 1.01 a	37.12 ± 1.06 c	33.1 ± 3.02 d	753.4 ± 0.81 a	8 133 ± 33.4 d	
	郑单 958	4.50	55.88 ± 2.11 a	19.43 ± 0.68 a	16.33 ± 0.03 a	43.33 ± 2.19 a	39.4 ± 1.02 a	518.2 ± 0.67 e	6 714 ± 67.8 c
		5.25	55.73 ± 0.98 a	18.67 ± 0.53 ab	16.33 ± 0.04 a	40.83 ± 1.23 b	39.1 ± 3.11 a	640.0 ± 1.23 cd	6 939 ± 79.8 c
6.00		53.42 ± 0.78 b	18.36 ± 0.45 b	15.67 ± 0.01 ab	41.33 ± 2.19 a	38.3 ± 2.14 b	665.4 ± 0.98 c	6 586 ± 80.4 c	
6.75		53.33 ± 1.07 b	17.49 ± 0.23 c	15.33 ± 0.59 ab	38.83 ± 2.03 b	37.1 ± 1.89 b	663.4 ± 1.04 c	7 883 ± 81.2 b	
7.50		51.41 ± 0.56 c	17.07 ± 0.43 c	16.00 ± 0.39 a	37.00 ± 1.09 b	36.7 ± 1.23 c	796.8 ± 2.13 b	7 951 ± 82.4 b	
8.25		51.02 ± 0.74 c	16.50 ± 0.34 d	16.00 ± 0.41 a	37.67 ± 1.78 b	35.6 ± 1.45 c	826.3 ± 2.11 a	8 668 ± 91.3 a	
9.00		51.00 ± 1.07 c	16.12 ± 0.14 d	15.98 ± 0.04 a	37.56 ± 1.45 b	35.4 ± 1.23 c	826.9 ± 1.07 a	8 424 ± 90.4 a	
浚单 20		4.50	55.88 ± 1.50 a	19.26 ± 0.35 a	17.00 ± 0.02 a	43.67 ± 0.09 a	38.1 ± 2.15 a	483.7 ± 1.08 d	6 671 ± 104.5 c
		5.25	55.73 ± 1.23 a	18.96 ± 0.56 ab	16.00 ± 0.04 b	42.00 ± 0.06 a	37.9 ± 1.78 a	563.7 ± 2.11 d	6 471 ± 102.4 c
	6.00	53.42 ± 1.22 b	17.03 ± 0.54 c	16.00 ± 0.02 b	40.17 ± 1.23 b	37.2 ± 3.01 ab	663.4 ± 3.21 c	6 616 ± 133.4 c	
	6.75	53.33 ± 3.07 b	16.79 ± 0.29 c	17.00 ± 0.03 a	37.33 ± 1.34 bc	36.1 ± 2.78 b	728.4 ± 1.45 bc	6 654 ± 45.6 c	
	7.50	51.41 ± 0.67 c	15.14 ± 0.08 d	16.00 ± 0.04 b	35.50 ± 1.09 c	35.4 ± 1.57 b	802.9 ± 0.78 b	7 984 ± 77.8 b	
	8.25	51.02 ± 0.41 c	14.45 ± 0.68 de	16.00 ± 0.05 b	33.33 ± 2.10 c	33.7 ± 2.19 c	946.8 ± 0.67 a	7 482 ± 80.5 b	
	9.00	50.23 ± 0.43 d	14.01 ± 0.29 e	16.21 ± 0.04 b	32.12 ± 1.23 d	32.5 ± 1.89 c	961.6 ± 0.55 a	8 456 ± 56.9 a	

注:同列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Notes: Values within each column followed by the different letters show significant difference ($P < 0.05$).

表 4 夏玉米茎秆性状、产量及构成因素和种植密度的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between stalk agronomic traits, yield and its component and planting density of summer maize

指标 Index	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}
T_1	1.000										
T_2	0.073	1.000									
T_3	0.643**	0.293	1.000								
T_4	-0.845**	-0.406	-0.701**	1.000							
T_5	-0.698**	-0.670**	-0.406	0.763**	1.000						
T_6	0.793**	0.241	-0.758**	0.635**	0.252	1.000					
T_7	-0.173	0.155	-0.007	-0.060	0.089	0.138	1.000				
T_8	-0.879**	-0.007	-0.823**	0.770**	0.474*	0.939**	0.107	1.000			
T_9	-0.911**	-0.047	-0.768**	0.867**	0.570**	0.870**	0.020	0.900**	1.000		
T_{10}	0.882**	-0.211	0.711**	-0.661**	-0.370	-0.952	-0.272	-0.955**	-0.874**	1.000	
T_{11}	0.295	0.689**	0.078	-0.437*	-0.646**	0.153	0.071	-0.101	-0.075	-0.033	1.000

注： T_1 ，种植密度； T_2 ，株高； T_3 ，穗位高； T_4 ，茎粗； T_5 ，穗粗； T_6 ，穗长； T_7 ，穗行数； T_8 ，行粒数； T_9 ，百粒重； T_{10} ，穗数； T_{11} ，产量。* 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著和极显著相关。

Note: T_1 , planting density; T_2 , plant height; T_3 , ear height; T_4 , stem diameter; T_5 , ear diameter; T_6 , ear length; T_7 , rows per ear; T_8 , kernels per ear; T_9 , 100-kernel weight; T_{10} , ear number; T_{11} , yield. * and ** denote significant correlations at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

积达到最大值^[16]。增加种植密度会使单株产量降低,但在较高种植密度下,群体产量还是增加的,这表明玉米群体生产力在较高的种植密度下弥补了单株生产力的不足,从而使玉米群体产量增加^[17]。这也是近年来增加玉米种植密度取得丰产的途径之一。在本试验设置的密度范围内,‘先玉 335’、‘郑单 958’和‘浚单 20’分别在种植密度为 7.50、8.25 和 9.00 万株/hm² 获得最大产量。张丽宏等^[11]和侯月等^[8]研究指出,‘郑单 958’在种植密度为 8.00 万株/hm² 时,可获得最高产量水平。

较高种植密度条件下,玉米产量与单位面积穗数无显著相关关系,这可能与作为产量构成因素的穗长、穗粗、行粒数和百粒重均随种植密度增加而降低有关。而种植密度与产量呈显著正相关,但差异不显著。相关分析表明,种植密度与穗位高、穗长和穗数呈正相关,而与茎粗、穗粗、百粒重和行粒数呈负相关。茎粗、穗粗与产量间呈极显著负相关。穗位高、穗长和穗行数与产量间呈显著正相关,但差异不显著。穗长增加对产量增加的贡献较大。因此,在晋南小麦玉米轮作区,增加种植密度是玉米增产的重要措施,但要综合考核茎秆性状,协调种植密度与茎秆倒伏的矛盾,做到高产抗倒。综合茎秆性状和产量结果看,‘先玉 335’种植密度为 6.75~8.25 万株/hm² 时,可取得较好生产效益。总之,玉米种植密度与产量的关系以及增产技术的区域适应性将在分区域分析探讨的基础上进一步研究。

参考文献 References

[1] 范继征,程伟东,闫飞燕,石达金,吕巨智,张玉,钟昌松,刘永红. 10 个玉米品种耐密性分析及其对主要性状的影响[J]. 种子,2017,36(3):69-71
Fan J Z, Cheng W D, Yan F Y, Shi D J, Lv J Z, Zhang Y, Zhong C S, Liu Y H. Density tolerance analysis for different of 10 maize varieties and effects on maize agronomic traits[J]. *Seed*, 2017, 36(3):69-71 (in Chinese)

[2] 刘晓林,马晓君,豆攀,黄科程,王兴龙,张颀,孔凡磊,袁继超. 种植密度对川中丘陵夏玉米茎秆性状及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2017,25(3):356-364
Liu X L, Ma X J, Dou P, Huang K C, Wang X L, Zhang D, Kong F L, Yuan J C. Effect of planting density on stem characteristics and yield of summer maize in the Hilly Central Sichuan Basin, China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(3):356-364 (in Chinese)

[3] 明博,谢瑞芝,侯鹏,李璐璐,王克如,李少昆. 2005—2016 年中国玉米种植密度变化分析[J]. 中国农业科学,2017,50(11):

1960-1972

Ming B, Xie R Z, Hou P, Li L L, Wang K R, Li S K. Changes of maize planting density in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(11):1960-1972 (in Chinese)

- [4] 张凤启,丁勇,张君,赵霞,马智艳,赵发欣,唐保军. 种植密度对夏玉米品种株型及产量性状的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(35):12-17
Zhang F Q, Ding Y, Zhang J, Zhao X, Ma Z Y, Zhao F X, Tang B J. Effect of planting densities on plant type and yield characters of summer maize varieties[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(35):12-17 (in Chinese)
- [5] 田再民,黄智鸿,陈建新,史宝林,魏东,瞿文洁,李环. 种植密度对 3 个紧凑型玉米品种抗倒伏性和产量的影响[J]. 玉米科学,2016,24(5):83-88
Tian Z M, Huang Z H, Chen J X, Shi B L, Wei D, Qu W J, Li H. Effects of planting density on lodging resistance and yield of three electrophile maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(5):83-88 (in Chinese)
- [6] 冯海娟,张善平,陈海宁,李玉岭,胡兆平. 种植密度和行距配置对高产夏玉米冠层特性及产量的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(25):51-54
Feng H J, Zhang S P, Chen H N, Li Y L, Hu Z P. Effects of planting population and row spacing arrangements on canopy characteristics and grain yield of summer corn[J]. *Journal of Anhui Agricultural sciences*, 2017, 45(25):51-54 (in Chinese)
- [7] Ren Y Y, Liu J J, Wang Z L, Zhang S Q. Planting density and sowing proportions of maize-soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China[J]. *Europe Journal of Agronomy*, 2016, 72, 70-79
- [8] 侯月,王冲,王鹏文. 种植密度对玉米产量和相关生理特性影响的研究[J]. 天津农学院学报,23(1):18-22
Hou Y, Wang C, Wang P W. Study on effect of plant density on related photosynthetic characteristics of maize[J]. *Journal of Tianjin Agricultural University*, 23(1):18-22 (in Chinese)
- [9] 冯鹏,申晓慧,郑海燕,张华,李增杰,杨海宽,李明顺. 种植密度对玉米籽粒灌浆及脱水特性的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(6):92-100
Feng P, Shen X H, Zheng H Y, Zhang H, Li Z J, Yang H K, Li M S. Effects of planting density on kernel filling and dehydration characteristics for maize hybrids[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(6):92-100 (in Chinese)
- [10] 谷利敏,乔江方,张美微,朱卫红,黄璐,代书桃,董树亭,刘京宝. 种植密度对不同耐密夏玉米品种茎秆性状与抗倒伏能力的影响[J]. 玉米科学,2017(5):91-97
Gu L M, Qiao J F, Zhang M W, Zhu W H, Huang L, Dai S T, Dong S T, Liu J B. Effect of planting density on stalk characteristics and lodging-resistant capacity of different density-resistant summer maize varieties[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2017(5):91-97 (in Chinese)

- [11] 张丽宏,李新,罗湘宁,许志斌. 不同类型玉米耐密性分析及对主要性状的影响[J]. 西北农业学报,2014,23(3):36-39
Zhang L H, Li X, Luo X N, Xu Z B. Density-tolerance analysis for different types of maize and effects on main agronomic traits[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2014, 23(3):36-39 (in Chinese)
- [12] 陈传永,侯玉虹,孙锐,朱平,董志强,赵明. 密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析[J]. 作物学报,2010,36(7):1153-1160
Chen C Y, Hou Y H, Sun R, Zhu P, Dong Z Q, Zhao M. Effects of planting density on yield performance and density-tolerance analysis for maize hybrids[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(7):1153-1160 (in Chinese)
- [13] 邓妍,王创云,赵丽,张丽光,郭虹霞,王陆军,牛学谦,王美霞. 群体密度对玉米茎秆性状、土壤水分的影响及其与产量、倒伏率的关系[J]. 华北农学报,2017,32(5):216-223
Deng Y, Wang C Y, Zhao L, Zhang L G, Guo H X, Wang L J, Niu X Q, Wang M X. Effects of population density on the stem traits and soil moisture in maize and their correlation with yield and lodging rate[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2017, 32(5):216-223 (in Chinese)
- [14] 王楷,王克如,王永宏,赵健,赵如浪,王喜梅,李健,梁明晰,李少昆. 密度对玉米产量($>15\ 000\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$)及其产量构成因子的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(16):3437-3445
Wang K, Wang K R, Wang Y H, Zhao J, Zhao R L, Wang X M, Li J, Liang M X, Li S K. Effects of density on maize yield and yield components[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(16):3437-3445 (in Chinese)
- [15] 陈艳萍,孔令杰,赵文明,刘瑞响,张美景,郑飞,孟庆长,袁建华. 种植密度对玉米光合特性和产量的影响[J]. 作物杂志,2016(3):68-72
Chen Y P, Kong L J, Zhao W M, Liu R X, Zhang M J, Zheng F, Meng Q C, Yuan J H. Effects of planting density on photosynthetic characteristics and yield in maize[J]. *Crops*, 2016(3):68-72 (in Chinese)
- [16] Shafi M, Bakht J, Ali S, Khan H, Aman K M, Sharif M. Effect of planting density on phenology, growth and yield of maize (*Zea mays* L)[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2012, 44 (2): 691-696
- [17] 王磊,高杰,渠建洲,冯娇娇,张兴华,郝引川,张仁和,郭东伟,薛吉全. 两种密度下不同玉米品种的高产稳产及适应性分析[J]. 玉米科学,2016,24(2):136-141
Wang L, Gao J, Qu J Z, Feng J J, Zhang X H, Hao Y C, Zhang R H, Guo D W, Xue J Q. Yield properties and adaptability of different maize varieties under two densities[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(2):136-141 (in Chinese)
- [18] Trachsel S, San Vicente F M, Suarez E A, Rodriguez C S, Atlin G N. Effects of planting density and nitrogen fertilization level on grain yield and harvest index in seven modern tropical maize hybrids (*Zea mays* L) [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2016, 154(4):689-704

责任编辑:吕晓梅