

孟战赢, 王育红, 郭党, 等. 不同种植密度对夏玉米产量及农艺性状的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(3): 50-57.

MENG Z Y, WANG Y H, GUO D, et al. Effects of different planting densities on yield and agronomic traits of summer maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3): 50-57.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.03.06

## 不同种植密度对夏玉米产量及农艺性状的影响

孟战赢<sup>1</sup>, 王育红<sup>1</sup>, 郭党<sup>1</sup>, 吴丽娜<sup>2</sup>, 田文仲<sup>1</sup>, 李俊红<sup>1</sup>, 李芳<sup>1</sup>, 吕军杰<sup>1</sup>

(1. 洛阳市农林科学院, 河南 洛阳 471023; 2. 栾川县农业技术推广服务中心, 河南 栾川 471500)

**摘要:**为探究不同夏玉米品种在豫西地区高产条件下适宜的种植密度, 进一步提高夏玉米单产水平, 以6个综合性状优良、豫西地区种植面积较大的夏玉米品种郑单958、豫单888、洛单30、漯玉16、登海605、登海187为试验材料, 设置6.0万株/hm<sup>2</sup>(CK)和7.5、9.0万株/hm<sup>2</sup>共3个种植密度, 分析产量、产量构成因素、叶面积和单株干物质量等差异。结果表明, 种植密度由6.0万株/hm<sup>2</sup>增加至7.5万株/hm<sup>2</sup>, 产量增加0.2%~12.0%; 种植密度由7.5万株/hm<sup>2</sup>增加至9.0万株/hm<sup>2</sup>, 产量增加-2.74%~9.80%; 随着种植密度增加, 玉米穗长减少, 秃尖长增加, 穗粒数减少, 百粒质量降低, 单株干物质量减小, 叶面积系数(LAI)增加。相关分析结果显示, 产量与穗粒数、百粒质量、LAI和吐丝期单株干物质量存在极显著正相关, 与秃尖长存在极显著负相关。综上可知, 在该试验条件下, 郑单958、漯玉16适宜的种植密度是7.5万株/hm<sup>2</sup>, 洛单30、豫单888、登海605和登海187适宜的种植密度是9.0万株/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**夏玉米; 种植密度; 农艺性状; 产量

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2025)03-0050-08

## Effects of Different Planting Densities on Yield and Agronomic Traits of Summer Maize

MENG Zhanying<sup>1</sup>, WANG Yuhong<sup>1</sup>, GUO Dang<sup>1</sup>, WU Lina<sup>2</sup>,

TIAN Wenzhong<sup>1</sup>, LI Junhong<sup>1</sup>, LI Fang<sup>1</sup>, LÜ Junjie<sup>1</sup>

(1. Luoyang Academy of Agriculture and Forestry, Luoyang 471023, China;

2. Luanchuan County Agro-Tech Extension and Service Center, Luanchuan 471500, China)

**Abstract:** In order to explore the suitable planting densities of different varieties of summer maize under the high yield condition in the Western Henan region and further improve the yield level of summer maize, in this study, six varieties with excellent comprehensive traits and large planting areas, Zhengdan 958, Yudan 888, Luodan 30, Luoyu 16, Denghai 605, and Denghai 187, were used as experimental materials. Three planting densities were set: 60 000 plants/ha(CK), 75 000 plants/ha, and 90 000 plants/ha, the difference of the traits such as yield, yield component factor, leaf area, and dry matter per plant was analyzed. The results showed that the yield increased from 0.2% to 12.0% as the planting density increased from 60000 plants/ha to 75000 plants/ha, and it increased from -2.74 to 9.80% as the planting density increased from 75000 plants/ha to 90000 plants/ha. As the planting density increased, the ear length decreased, the bald tip increased, the grains per ear decreased, the 100-grain weight decreased, the dry matter weight per plant decreased, and the leaf area index(LAI) increased. Correlation analysis showed that there was an extremely significantly positive correlation between yield and the grains per ear, 100-grain weight, LAI, and dry matter weight per plant during the silking stage, and an extremely significantly negative correlation with bald tip. In conclusion, under the experiment conditions, the suitable planting density for Zhengdan 958 and Luoyu 16 was 75 000 plants/ha, while the suitable planting density for Luodan 30, Yudan 888, Denghai 605, and Denghai 187 was 90 000 plants/ha.

**Keywords:** summer maize; planting density; agronomic traits; yield

玉米是我国第一大粮食作物<sup>[1]</sup>, 种植面积和总产量在粮食生产中均发挥着重要作用<sup>[2-3]</sup>。玉米单

收稿日期: 2024-06-26

基金项目: 国家玉米产业技术体系(CARS-02-69)

作者简介: 孟战赢, 助理研究员, 硕士, 主要从事玉米高产栽培技术研究, E-mail: mengzhanying2024@126.com

产提升在穗粒数和粒质量增加遭遇瓶颈的情况下,增加种植密度是行之有效的增产措施。黄淮海夏玉米区作为玉米四大主产区之一,产量约占总产的30%<sup>[4]</sup>,当前黄淮海地区玉米种植密度为6.2万株/hm<sup>2</sup>左右<sup>[5]</sup>,继续增加密度,产量增加的同时<sup>[6-7]</sup>,植株形态随之变化<sup>[8-9]</sup>。张明达等<sup>[10]</sup>研究表明,适当增加种植密度可以显著提高玉米的产量。韩金玲等<sup>[11]</sup>研究表明,春玉米的种植密度与单株干物质质量呈负相关。李博等<sup>[12]</sup>研究表明,玉米的叶面积指数随着种植密度增加而增加。赵丽等<sup>[13]</sup>研究表明,随着密度的增大,不同玉米品种的株高、穗位高、空秆率、倒伏率均增高。王群等<sup>[14]</sup>研究表明,随密度增加,玉米茎秆抗倒能力呈下降趋势。黄鑫等<sup>[15]</sup>研究表明,增加密度和水分胁迫导致玉米灌浆期缩短,平均灌浆速率降低。唐建华等<sup>[16]</sup>研究表明,随着密度的增加,玉米净光合速率呈下降趋势。黄淮海地区是夏玉米四大主产区之一,其中的豫西地区地形多变、生态环境脆弱,近年来随着粮油单产提升行动的开展,不同品种高产条件下的适宜种植密度对单产提升至关重要。

为确定豫西地区高产种植条件下不同品种的

最适种植密度,本研究选用不同玉米品种为试验材料,分析种植密度对产量、农艺性状等的影响,探明不同品种产量及其构成因素、干物质积累和叶面积对种植密度的响应,以期为豫西地区夏玉米单产持续提升提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验于2023年在河南省洛阳市安乐镇赵村洛阳市农林科学院玉米综合试验站(N34.4°,E112.3°)进行。试验地灌排方便,地势平坦。该试验区年均辐射量为491.5 kJ/cm<sup>2</sup>,年平均气温为14.0℃,日均温超过10℃的活动积温为4 200℃,日照时数为2 200 h,干燥度为1.34,无霜期为215~219 d。年蒸发量为1 841.7 mm,常年平均降水量为646.3 mm,且70%集中在6—9月。土壤类型为壤土,土壤基础养分状况如表1所示。2023年玉米全生育期(6—10月)降雨与温度如图1所示,玉米生育季节气温峰值出现在7月上中旬,降雨则集中在7月底至8月底,整体来看,降雨充沛与温度适宜,有利于玉米各生育期生长发育和产量的形成。

表1 试验地0~40 cm土层土壤基础养分状况

Tab.1 Basic nutrient status of 0~40 cm soil layer in experimental sites

土层/cm Soil layer	有机质/(g/kg) Organic matter	全氮/(g/kg) Total nitrogen	碱解氮/(mg/kg) Alkaline hydrolysable nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium
0~20	14.52	1.16	106.90	21.24	107.56
20~40	11.18	0.96	88.21	18.64	97.25

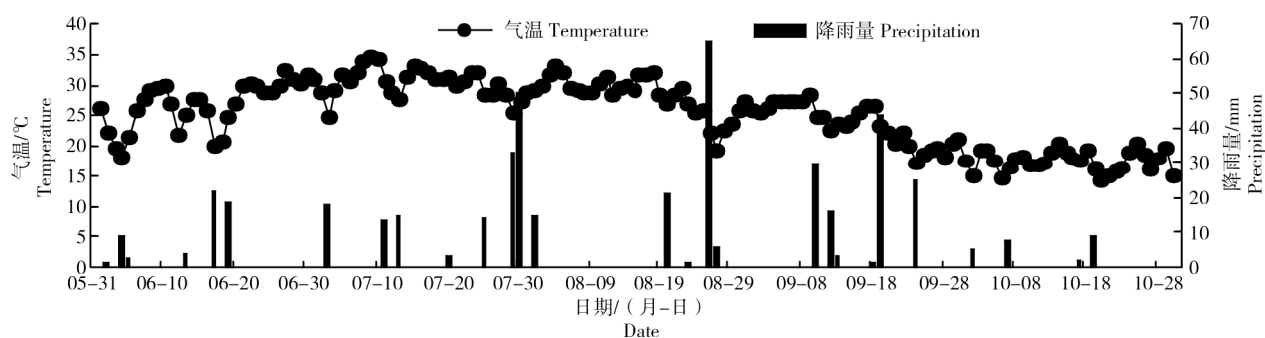


图1 玉米生育期内日平均气温和日降雨量

Fig.1 Daily mean temperature and daily precipitation during the maize growing season

### 1.2 试验材料

供试材料为6个综合性状优良、豫西地区种植面积较大的玉米品种,包括郑单958(ZD958)、洛单30(LD30)、豫单888(YD888)、登海605(DH605)、漯玉16(LY16)、登海187(DH187)。

### 1.3 试验设计

试验采用裂区设计,以密度为主处理,品种为副处理,设置7.5(D7.5)、9.0万株/hm<sup>2</sup>(D9.0)2种密度,以大田生产普遍种植的6.0万株/hm<sup>2</sup>密度为对照。6月5日播种,小区面积21.6 m<sup>2</sup>,6行区,行

长 6 m, 行距 0.6 m, 3 次重复, 随机区组排列。管理方式同一般高产田。

#### 1.4 测定项目及方法

1.4.1 测产 收获时, 每品种取中间 3 行进行测产, 选取有代表性的果穗 10 穗, 测定穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒质量、百粒质量等。

1.4.2 叶面积测定 收获期用直尺测量, 每个处理随机选取长势均匀一致的代表性植株 5 株, 采用长宽系数法, 计算叶面积和叶面积指数。

1.4.3 干物质质量测定 吐丝期和成熟期每个小区随机选取 3 株有代表性且长势均匀一致的植株, 去除根部, 于 105 °C 杀青 0.5 h, 80 °C 烘干至恒质量,

测定其干物质量。

#### 1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2021 软件对数据进行整理、作图, 利用 SPSS 22.0 统计软件进行方差分析和显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植密度下夏玉米产量及产量构成因素的变化

不同密度下不同品种产量和产量构成因素如表 2 所示。

表 2 不同密度下不同品种产量及产量构成因素

Tab.2 The yield and its components factors of different varieties under different densities

处理 Treatment	品种 Variety	产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	穗粒数 Grains per ear	百粒质量/g 100-grain weight	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear diameter	秃尖长/cm Bald tip length
D6.0	ZD958	12 627.1b	604.6a	33.6b	19.4b	5.0ab	0.4b
	LD30	13 598.5ab	609.2a	33.5bc	18.7bc	5.0ab	0.3b
	YD888	13 244.0b	597.6ab	32.4c	18.3c	5.0ab	0.7b
	DH605	14 231.7a	607.1a	37.0a	22.3a	5.1a	2.7a
	LY16	13 233.6b	567.0b	33.2bc	18.7bc	5.1a	0.8b
	DH187	13 242.8b	628.6a	31.2d	19.1b	4.9b	0.3b
	均值	13 362.9c	602.4a	33.5a	19.4a	5.0a	0.9ab
D7.5	ZD958	14 136.6bc	541.0bc	34.1ab	17.7b	5.0ab	0.3d
	LD30	15 148.7a	567.3b	33.4ab	18.3b	5.0ab	0.5cd
	YD888	14 810.4ab	571.5b	33.2ab	17.6b	4.9b	0.9bc
	DH605	14 260.6bc	524.1c	35.7a	21.1a	5.0ab	3.3a
	LY16	14 283.9bc	551.5bc	30.7ab	17.7b	5.1a	1.0b
	DH187	13 956.0c	657.0a	29.8b	18.5b	4.7c	0.5cd
	均值	14 432.7b	568.7b	32.8a	18.5b	4.9ab	1.1a
D9.0	ZD958	13 749.1b	495.3bc	32.1c	16.0b	4.8a	0.4c
	LD30	16 320.8a	541.4b	32.7bc	16.7b	5.0a	0.4c
	YD888	15 189.6ab	534.3bc	31.0d	16.8b	4.8ab	1.6b
	DH605	14 649.4ab	480.2c	37.1a	19.6a	5.0a	2.9a
	LY16	14 208.3b	508.7bc	33.4b	16.9b	5.0a	1.3b
	DH187	15 327.8ba	607.5a	28.6e	17.1b	4.7b	0.7c
	均值	14 907.5a	527.9c	32.5a	17.2c	4.9ab	1.2a
均值 Average	ZD958	13 504.3c	546.9c	33.3b	17.7c	4.9ab	0.4c
	LD30	15 022.6a	572.7b	33.2b	17.9bc	5.0a	0.4c
	YD888	14 414.7ab	567.8b	32.2b	17.6c	4.9ab	1.0b
	DH605	14 440.5ab	537.1bc	36.6a	21.0a	5.0a	3.0a
	LY16	13 908.6bc	542.4bc	32.4b	17.7bc	5.0a	1.0b
	DH187	14 175.5b	631.0a	29.9c	18.3b	4.8b	0.5c
	种植密度(D) Planting density		24.728**	45.385**	**	74.664**	NS
品种(V) Variety		5.515**	19.698**	16.822**	52.085**	NS	NS
D×V		NS	2.76*	NS	NS	NS	NS

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ); \* 表示密度、品种交互作用在  $P < 0.05$  水平上差异显著; \*\* 表示在  $P < 0.01$  水平上差异极显著; NS 表示差异不显著。

Note: Values within the same column followed by different lowercase letters indicated significant differences at  $P < 0.05$  among different treatments; \* indicated significant differences in density and variety interaction at the  $P < 0.05$ , \*\* indicated extremely significant differences at the  $P < 0.01$ ; NS indicated no significant influence.

从表2可以看出,密度由D6.0增加至D7.5,产量增幅为0.2%~12.0%,密度由D7.5增加至D9.0,产量增幅为-2.74%~9.80%。不同品种产量对密度增加的响应不同,LD30、YD888、DH605和DH187产量随密度增加而增加,ZD958和LY16产量则随密度增加而先增加后减少。

从产量构成因素分析,品种和密度互作对穗粒数影响显著。随着种植密度的增加,6个品种平均穗粒数减少,达显著水平( $P<0.05$ ),百粒质量降低不显著,密度由D6.0增加至D7.5,穗粒数变化幅度为-13.7%~4.5%,DH605、ZD958和LD30的穗粒数分别减少13.7%、10.5%、6.9%,达显著水平( $P<0.05$ ),YD888、LY16和DH187的穗粒数变化不显著;由密度D7.5增加至D9.0,穗粒数变化幅度为-8.4%~-4.6%,LD30的穗粒数降低较少,为4.6%,未达显著水平,其余品种的穗粒数减少,达显著水平( $P<0.05$ )。密度每增加1.5万株/hm<sup>2</sup>,6个品种的平均穗粒数减少54粒,平均百粒质量减少0.8g,平均穗长减少1.6cm,平均穗粗减少0.1cm。密度由D6.0增加至D9.0,DH187的穗粒数减少21.1粒,减幅3.4%,较其他品种降低最少;百粒质量减少8.5%,减幅最大;穗粗降低4.1%,减幅最大;秃尖长增加0.4cm,增幅最大;LD30则是穗粗不降低。DH187和LD30在种植密度增加的情况下,表现出较好的产量构成因素。

## 2.2 不同种植密度下夏玉米单株干物质量的差异

从图2~4可以看出,3个密度条件下吐丝期单株干物质量均较成熟期低,不同品种间有所差异,在D6.0密度条件下,吐丝期LD30的单株干物质量最大,其次是DH605,LY16最低,而在成熟期则是ZD958的单株干物质量最大,其次是DH187,DH605最低,且达显著水平( $P<0.05$ );在D7.5密度条件下,吐丝期LD30、YD888和DH605的单株干物质量均较高,差异不显著,LY16最低,成熟期则是YD888的单株干物质量最大,其次是ZD958,LY16和DH187均较低;在D9.0密度条件下,吐丝期LD30的单株干物质量最大,其次是DH605,LY16最低,成熟期则是ZD958的单株干物质量最大,DH605和YD888次之,且差异不显著,DH187最低。综上可知,LD30的吐丝期单株干物质量均较高,LY16较低,达显著水平( $P<0.05$ );成熟期则是ZD958的单株干物质量较高,DH187较低,达显著水平( $P<0.05$ )。

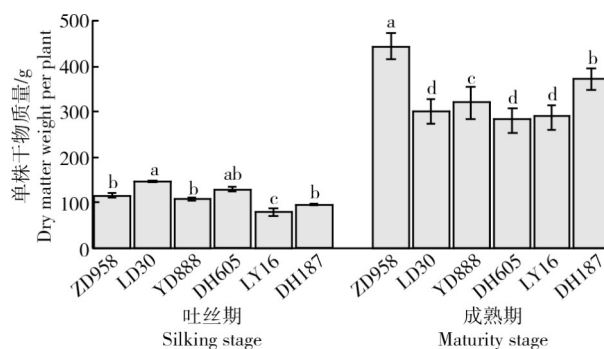


图2 D6.0处理下不同品种吐丝期和成熟期单株干物质量差异  
不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同  
Values within the same column followed by different lower-case letters indicated significant differences at  $P<0.05$  among treatments. The same as below

图2 D6.0处理下不同品种吐丝期和成熟期单株干物质量差异

Fig.2 Difference in dry matter weight per plant in different varieties at the silking stage and maturity stage under the treatment of D6.0

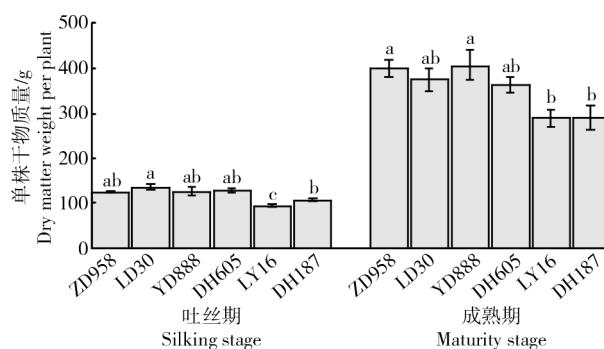


图3 D7.5处理下不同品种吐丝期和成熟期单株干物质量差异

Fig.3 Difference in dry matter weight per plant in different varieties at the silking stage and maturity stage under the treatment of D7.5

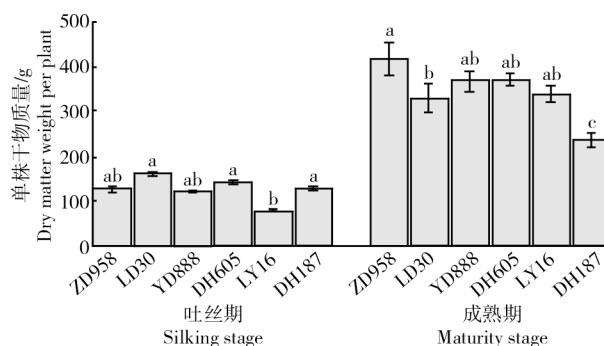


图4 D9.0处理下不同品种吐丝期和成熟期单株干物质量差异

Fig.4 Difference in dry matter weight per plant in different varieties at the silking stage and maturity stage under the treatment of D9.0

### 2.3 不同种植密度下夏玉米成熟期单株叶面积和叶面积系数(LAI)的差异

成熟期叶面积是不同品种在不同密度条件下持绿性的表现,从图5可以看出,不同品种随着密度由D6.0增加到D7.5再增加到D9.0,收获期单株叶面积有所不同,ZD958、LD30、DH605和LY16先增加后减少;品种间则是ZD958和LD30的单株

叶面积较大。LAI在不同密度和不同品种中表现为随着密度增加,各品种LAI均增加,其中YD888增加更明显。总之,随着密度增加,LAI增加,单株叶面积先增加后降低,不同品种有所差异,ZD958、LD30和YD888表现出了更好的耐密植株生长发育形态。

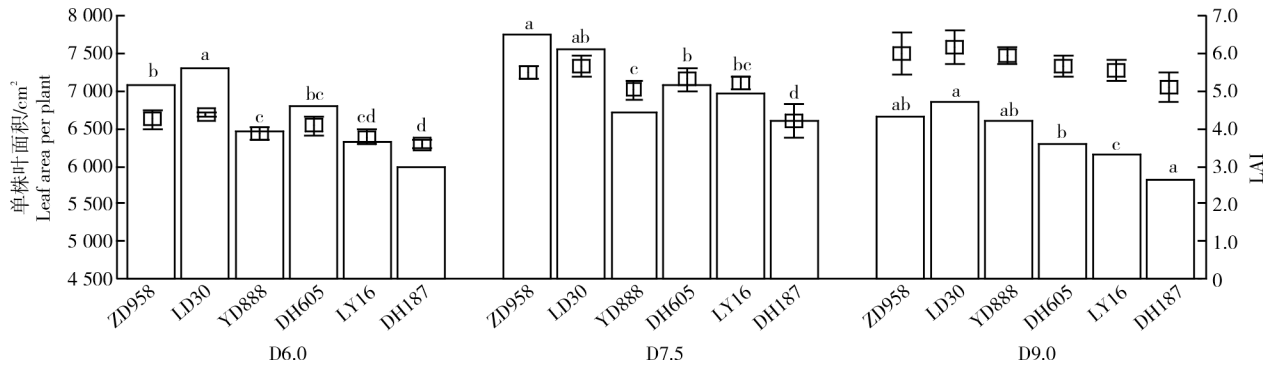


图5 3个密度下不同品种成熟期单株叶面积和LAI差异

Fig.5 Difference in leaf area per plant and LAI in different varieties at maturity stage under three densities

### 2.4 不同种植密度条件下产量与农艺性状相关性分析

不同密度条件下,产量与农艺性状相关性分析如表3所示,产量与穗粒数、百粒质量、LAI及吐丝期单株干物质质量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),LAI的相关系数最大(0.743),产量和秃尖长呈极

显著负相关( $-0.416, P<0.01$ )。穗粒数和LAI呈极显著负相关( $P<0.01$ ),穗长和穗粗、秃尖长、百粒质量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),百粒质量和单株叶面积、成熟期单株干物质质量呈显著正相关( $P<0.05$ )。

表3 不同密度条件下不同品种主要农艺性状相关性分析

Tab.3 Correlation analysis of main agronomic traits of different varieties under different densities

性状 Trait	产量 Yield	穗粒数 Grains per ear	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	秃尖长 Bald tip length	百粒质量 100-grain weight	单株叶面积 Leaf area per plant	LAI	吐丝期单株干物质质量 Dry matter weight per plant at silking stage
产量 Yield	1.000								
穗粒数 Grains per ear	0.461**	1.000							
穗长 Ear length	0.289*	0.299*	1.000						
穗粗 Ear diameter	-0.069	-0.128	0.421**	1.000					
秃尖长 Bald tip length	-0.416**	0.286*	0.616**	0.286*	1.000				
百粒质量 100-grain weight	0.365**	-0.274*	0.640**	0.644**	0.636**	1.000			
单株叶面积 Leaf area per plant	0.183	-0.056	0.036	0.389**	-0.074	0.267*	1.000		
LAI	0.743**	-0.634**	-0.545**	-0.080	0.104	-0.075	0.362*	1.000	
吐丝期单株干物质质量 Dry matter weight per plant at silking stage	0.556**	-0.117	0.032	-0.012	0.093	0.252	0.486**	0.464**	1.000
成熟期单株干物质质量 Dry matter weight per plant at maturity stage	0.196	-0.071	-0.110	0.139	-0.069	0.310*	0.241	0.163	0.153

注:\*\*表示在0.01水平下极显著相关;\*表示在0.05水平下显著相关。

Note: \*\* indicated extremely significant correlation at the 0.01 level and \* indicated significant correlation at the 0.05 level.

### 3 结论与讨论

产量是玉米综合性状的最终体现,增密是玉米单产提升的有效措施之一<sup>[17]</sup>。前人研究表明,玉米提高单位面积穗数可补偿穗粒数和百粒质量的降低进而增加产量<sup>[18]</sup>,继续增加种植密度后籽粒形成<sup>[19-21]</sup>和光能利用<sup>[22]</sup>受到影响,穗数增加不能补充穗粒数和百粒质量的降低而产量下降<sup>[23]</sup>。凌莉等<sup>[24]</sup>研究表明,随着种植密度的增加,玉米的穗粒数、百粒质量极显著降低。本研究也发现,玉米种植密度由6.0万株/hm<sup>2</sup>增加至7.5万株/hm<sup>2</sup>,增产显著,可能与选择的品种特性有关,部分品种密度增加后穗粒数降低较少,LD30在密度增加后仍能保持较高的产量和穗部性状,适宜高密度种植。已有研究表明,在适宜种植密度以下时,玉米产量随密度增加而增大,高密植条件下保持高结穗率是确保高产的首要因素<sup>[25]</sup>,密度超过适宜种植密度时,产量显著下降<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,LD30在9.0万株/hm<sup>2</sup>密度下产量达最大(16 320.8 kg/hm<sup>2</sup>),DH605在9.0万株/hm<sup>2</sup>密度下穗长和穗粗最大,DH187穗粒数最大,表现出较好的耐密植特性,而ZD958密度增至9.0万株/hm<sup>2</sup>时,可能是由于过高的密度影响群体的正常生长,产量有所下降。当前玉米生产过程中,随着密植精准调控滴灌技术推广等现代生产模式的出现,品种适应密度与生产需求脱节,生产中急需能适应8.23万~9.00万株/hm<sup>2</sup>的高密度品种。因此,在玉米生产中,可将LD30、DH605和DH187种植密度增至9.0万株/hm<sup>2</sup>,同时跟进栽培管理措施获得高产。

植株形态和群体结构是密度持续增加的基础<sup>[27]</sup>,在不同密度条件下,玉米品种需要保持较高的单株干物质质量和单株叶面积、较大的LAI。种植密度增加后,由于田间通风透光较差,单株个体生长受限。前人研究表明,玉米产量与成熟期单株干物质积累有关<sup>[28]</sup>,随着密度的增加,单株叶面积和单株干物质质量降低<sup>[29]</sup>、LAI增加<sup>[30]</sup>。本研究通过分析6个品种在3个种植密度下吐丝期和成熟期单株干物质质量以及成熟期单株叶面积和LAI的差异,同时分析和产量的相关性,结果表明,LD30在密植条件下吐丝期单株干物质质量较高,叶面积协调,产量、LAI和吐丝期单株干物质质量呈正相关。这与刘春晓等<sup>[31]</sup>的结论基本一致,然而由于耐密品

种适应密度的大幅提高,未能发现部分品种农艺性状的拐点密度,将进一步设置更加广泛的密度,同时加入基因型更加丰富的玉米品种,通过对农艺性状、生理生态特征特性等进行深入分析,得出耐密品种获得高产的生理机理和调控措施,为夏玉米单产的进一步提升和耐密高产群体的构建提供理论基础。

本试验年份的降雨量中等偏上,3个种植密度6个品种的玉米均长势良好,表现出不同密度不同品种的产量和农艺性状特征。然而不同密度和不同品种的综合表现需要多年多点验证,仍需进一步在不同年份不同地点对不同品种和密度处理后玉米生长发育的影响进行更深入研究。

本研究表明,随着密度增加,耐密型玉米品种产量增加,穗粒数和千粒质量降低,单株干物质质量和叶面积下降,叶面积指数显著增加。本试验条件下,郑单958、溧玉16适宜的种植密度是7.5万株/hm<sup>2</sup>,洛单30、豫单888、登海605和登海187适宜的种植密度是9.0万株/hm<sup>2</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 冯国瑞,刘小龙,王祥斌,等.启动磷肥不同施用方式对玉米养分吸收及生长和产量的影响[J].核农学报,2022,36(5):1052-1060.  
FENG G R, LIU X L, WANG X B, et al. Effect of different fertilization pattern of starter phosphate fertilizer on nutrient absorption, growth and yield of maize[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2022, 36(5): 1052-1060.
- [2] 吴霞,王培娟,公衍铎,等.1961—2015年黄淮海平原夏玉米干旱识别及时空特征分析[J].农业工程学报,2019,35(18):190-200.  
WU X, WANG P J, GONG Y D, et al. Analysis of drought identification and spatio-temporal characteristics for summer corn in Huang-Huai-Hai Plain in year of 1961-2015[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(18): 190-200.
- [3] 赵晴月,许世杰,张务帅,等.中国玉米主产区土壤养分的空间变异及影响因素分析[J].中国农业科学,2020,53(15):3120-3133.  
ZHAO Q Y, XU S J, ZHANG W S, et al. Spatial regional variability and influential factors of soil fertilities in the major regions of maize production of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(15): 3120-3133.
- [4] 韩慧敏,张磊,孙森,等.黄淮海不同夏玉米品种生长发育及产量对播期的响应[J].玉米科学,2020,28(2):106-114.  
HAN H M, ZHANG L, SUN M, et al. Response of growth, development and yield of different summer maize cultivars to sowing date in Huang-Huai-Hai Plain[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(2): 106-114.

- [5] 明博,谢瑞芝,侯鹏,等. 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, et al. Changes of maize planting density in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 1960-1972.
- [6] 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):23-25.  
TONG P Y, CHENG Y N. Study on the relationship between maize density and yield factors[J]. Beijing Agricultural Science, 1995(1):23-25.
- [7] 杨国虎,李新,王承莲,等. 种植密度影响玉米产量及部分产量相关性状的研究[J]. 西北农业学报,2006,15(5):57-60.  
YANG G H, LI X, WANG C L, et al. Study on effects of plant densities on the yield and the related characters of maize hybrids [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2006, 15(5): 57-60.
- [8] 王茜,刘树宇,刘水,等. 播种密度对雨养夏玉米产量形成的调控效应[J]. 天津农业科学,2022,28(10):14-18.  
WANG Q X, LIU S Y, LIU S, et al. Effects of plant densities on rain-fed summer maize yield formation[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2022, 28(10): 14-18.
- [9] 史大坤,魏锋,张玉红,等. 种植密度对黄淮海区域部分玉米品种抗倒能力及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(16):98-104.  
SHI D K, WEI F, ZHANG Y H, et al. Effect of planting density on lodging resistance and yield of some maize varieties in Huang-Huai-Hai region[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(16):98-104.
- [10] 张明达,张国强,王克如,等. 种植密度和灌溉量对西辽河平原春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 玉米科学,2023,31(1):116-125.  
ZHANG M D, ZHANG G Q, WANG K R, et al. Effects of planting density and irrigation amount on yield and water use efficiency of spring maize in the west Liaohe Plain[J]. Journal of Maize Sciences, 2023, 31(1):116-125.
- [11] 韩金玲,李彦生,杨晴,等. 不同种植密度下春玉米干物质积累、分配和转移规律研究[J]. 玉米科学,2008,16(5):115-119.  
HAN J L, LI Y S, YANG Q, et al. The effect of plant density on regularity of accumulation, distribution and transfer of dry matter on spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(5):115-119.
- [12] 李博,张鹏. 玉米不同群体对叶面积指数及干物重和产量的影响[J]. 中国农技推广,2021,37(1):50-51.  
LI B, ZHANG P. Effects of different maize populations on leaf area index, dry matter quality and yield[J]. China Agricultural Technology Extension, 2021, 37(1): 50-51.
- [13] 赵丽,郭虹霞,王创云,等. 种植密度对不同玉米品种农艺、光合性状及产量的影响[J]. 山西农业科学,2015,43(5):548-551.  
ZHAO L, GUO H X, WANG C Y, et al. Effects of planting density on agronomic traits, photosynthetic characteristics and yield of different maize variety[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(5): 548-551.
- [14] 王群,薛军,张国强,等. 覆膜滴灌条件下灌溉量和种植密度对玉米茎秆抗倒能力的影响[J]. 玉米科学,2021,29(2):124-130.  
WANG Q, XUE J, ZHANG G Q, et al. Effect of irrigation amount and plant density on the lodging resistance of maize stalk under the condition of mulch drip irrigation[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(2):124-130.
- [15] 黄鑫,佟玲,康德奎,等. 种植密度和水分胁迫对玉米灌浆特性与源库关系的影响[J]. 灌溉排水学报,2022,41(6):12-20.  
HUANG X, TONG L, KANG D K, et al. The combined effect of planting density and water stress on grain traits of maize [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(6): 12-20.
- [16] 唐建华,齐华,张卫建,等. 种植密度对不同株型玉米生理特性及光合产物的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2013,44(1):13-19.  
TANG J H, QI H, ZHANG W J, et al. Effect of density on physiological characteristics and accumulation of photosynthesis product of different maize plant type[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2013, 44(1): 13-19.
- [17] 聂林雪,逢焕成,朱海燕,等. 播期与密度对郑单958产量构成的影响[J]. 玉米科学,2014,22(5):104-108.  
NIE L X, FENG H C, ZHU H Y, et al. Influence of sowing time and density on yield formation of Zhengdan958[J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(5): 104-108.
- [18] XUE J, XIE R Z, ZHANG W F, et al. Research progress on reduced lodging of high-yield and-density maize[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(12):2717-2725.
- [19] 孟战赢,王育红,王向阳,等. 密度对夏玉米灌浆特性及产量的影响[J]. 河南农业科学,2011,40(12):48-51.  
MENG Z Y, WANG Y H, WANG X Y, et al. The effects of increasing density on summer grouting characteristics and yield [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2011, 40(12): 48-51.
- [20] 付晋峰,王璞. 播期和种植密度对玉米子粒灌浆的影响[J]. 玉米科学,2016,24(3):117-122,130.  
FU J F, WANG P. Effects of sowing date and planting density on maize filling[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(3): 117-122, 130.
- [21] 王育红,周新,王海洋,等. 种植密度对夏玉米新单65灌浆和脱水特性的影响[J]. 作物研究,2021,35(4):302-306,342.  
WANG Y H, ZHOU X, WANG H Y, et al. Effects of planting density on filling and dehydration characteristics of summer maize variety Xindan 65[J]. Crop Research, 2021, 35(4): 302-306, 342.
- [22] 魏焜,孟繁美,李晶,等. 不同密度下玉米叶绿素荧光参数分析和产量差异比较[J]. 东北农业大学学报,2013,44(10):1-5.  
WEI S, MENG F M, LI J, et al. Chlorophyll fluorescence parameters and yield analysis of maize at different planting intensity levels[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(10):1-5.
- [23] 徐宗贵,孙磊,王浩,等. 种植密度对旱地不同株型春玉米品种光合特性与产量的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(13):2463-2475.

- XU Z G, SUN L, WANG H, et al. Effects of different planting densities on photosynthetic characteristics and yield of different variety types of spring maize on dryland[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(13):2463-2475.
- [24] 凌莉, 裴文东. 种植密度对不同熟期玉米茎秆抗倒伏特性及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2024, 32(2):106-113.
- LING L, PEI W D. Effects of planting density on stem lodging resistance and grain yield of maize at different maturity stages[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2024, 32(2):106-113.
- [25] 高鑫, 高聚林, 于晓芳, 等. 高密度对不同类型玉米品种茎抗倒特性及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2012, 20(4):69-73.
- GAO X, GAO J L, YU X F, et al. Stalks lodging-resistance characteristics and yield traits among different maize varieties under high close planting[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(4):69-73.
- [26] 何海军, 王晓娟, 寇思荣. 西北旱作区不同种植密度对玉米光合特性和产量的影响[J]. *作物杂志*, 2017(6):91-95.
- HE H J, WANG X J, KOU S R. Effects of different planting density on photosynthetic characteristics and yield of maize in dry area[J]. *Crops*, 2017(6):91-95.
- [27] 李宗新, 陈源泉, 王庆成, 等. 密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(23):7391-7401.
- LI Z X, CHEN Y Q, WANG Q C, et al. Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(23):7391-7401.
- [28] 张迪, 王冀川, 陈慧, 等. 密度对夏玉米干物质积累的影响及其归一化模拟模型的建立[J]. *玉米科学*, 2018, 26(5):58-64.
- ZHANG D, WANG J C, CHEN H, et al. Effect of density on dry matter accumulation of summer maize and establishment of normalized simulation model[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2018, 26(5):58-64.
- [29] 姚小英, 李晓薇, 王禹锡, 等. 西北干旱区旱地玉米叶面积指数与气象因子及生物量的关系[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(11):1881-1889.
- YAO X Y, LI X W, WANG Y X, et al. Relationship among LAI and meteorological factors and biomass of maize in dry-farming areas of northwestern China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(11):1881-1889.
- [30] 鲁晓民, 郭书磊, 张新, 等. 不同密度下玉米茎秆抗倒伏相关性状的产量构成分析[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(9):44-55.
- LU X M, GUO S L, ZHANG X, et al. Analysis of yield composition of stem lodging resistance related traits of maize under different densities[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(9):44-55.
- [31] 刘春晓, 董瑞, 张秀芝, 等. 不同种植密度对玉米叶面积指数、干物质积累及产量的影响[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(2):36-39.
- LIU C X, DONG R, ZHANG X Z, et al. Effects of different planting densities on leaf area index, dry matter accumulation and yield of maize[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2017, 49(2):36-39.

## 著作权使用声明

本刊已许可中国知网以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含中国知网著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者说明处理。

《山西农业科学》编辑部