



李文龙,任国鑫,孙丽芳,等.株距对春玉米产量及茎秆强度的影响[J].黑龙江农业科学,2022(9):25-30.

# 株距对春玉米产量及茎秆强度的影响

李文龙<sup>1,2</sup>,任国鑫<sup>1</sup>,孙丽芳<sup>1,2</sup>,邓杰<sup>1,2</sup>,王霞<sup>1,2</sup>,高树仁<sup>1,2</sup>

(1.黑龙江八一农垦大学农学院,黑龙江大庆163319;2.黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室,黑龙江大庆163319)

**摘要:**为探讨玉米密度、茎秆强度及产量之间的关系,以敦玉27为试验材料,在15,17,19,21和23 cm,共5个株距条件下比较株距对玉米茎秆强度及产量的影响。结果表明,穗位高、百粒重、行粒数随着株距的增加而降低,短轴直径、穗长、穿刺强度、抗推力强度随着株距的增加而增加。株距对敦玉27的容重、含水量、穗行数、倒伏率影响不显著;对株高、穗位高、短轴直径、穗长、秃尖长、产量、百粒重、行粒数、穿刺强度、抗推力强度影响显著。株距为17 cm时,敦玉27的产量最高,为 $756.57 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ ,其最大穿刺强度和最大抗推力强度均出现在株距为23 cm处理,分别为35.82和30.81 N。

**关键词:**玉米;茎秆强度;穿刺强度;抗推力强度;产量

种植密度是决定玉米产量的重要因子,适当增加种植密度是提高玉米产量的重要途径之一<sup>[1]</sup>。目前,密度是限制我国玉米产量提高的关键因素。据报道,美国玉米单产的提高,80%是依靠密度实现的<sup>[2]</sup>。2019年美国玉米高产竞赛平均种植密度达到 $6\,500 \text{ 株} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ ,平均产量达 $1\,608.09 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ ,居世界领先地位<sup>[3]</sup>。通过调控种植密度,可以充分利用光照、水肥等自然资源,从而提高玉米产量。有研究表明,提高玉米种植密度,能够提高玉米的株高和穗位高,从而增加玉米干物质积累量,进而提高籽粒产量<sup>[4-5]</sup>。但是当种植密度超过一定阈值时,就会加剧植株间水肥矛盾,导致植株茎秆细弱,增加倒伏风险<sup>[6]</sup>。

茎秆的抗倒伏特性也与植株密度密切相关。谷利敏等<sup>[7]</sup>研究表明,密度增加后,夏玉米第三节间会变长,变细,茎秆的穿刺强度降低25.1%,抗推力强度降低25.2%,倒伏率增加57.9%。郭书磊等<sup>[8]</sup>研究表明,玉米密度从 $7.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $9.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,倒伏率增加88.51%,茎秆穿刺强度、压折强度和产量分别降低4.40%、22.26%和4.60%。目前,现有研究主要集中于密度对玉米农艺性状、根系、光合特性及产量影响的差异方面<sup>[9-11]</sup>,而关于春玉米茎秆强度的差异

研究报道较少。因此,本研究以敦玉27为试验材料,研究密度对春玉米茎秆强度和产量的影响,探讨密度、茎秆强度及产量之间的关系,旨在为春玉米密植高产栽培提供理论依据和实践参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2021年在黑龙江省密山市黑龙江八一农垦大学科研所基地进行,地理位置为 $45^{\circ}01' \text{N} \sim 45^{\circ}55' \text{N}$ , $131^{\circ}14' \text{E} \sim 133^{\circ}08' \text{E}$ 。前茬为大豆,秋整地,土壤肥力中等。供试土壤为白浆土。

### 1.2 材料

供试玉米品种为敦玉27,由甘肃省敦煌种业股份有限公司研究院提供。审定编号为甘审玉20180043,生育期112 d,需要 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 $2\,350^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.3 方法

**1.3.1 试验设计** 试验采用随机区组设计,设置5个株距,分别为15,17,19,21和23 cm。共5个处理,3次重复,共15个小区,小区面积 $13 \text{ m}^2$ ,垄长5 m,垄宽0.65 m,4行区。秋施尿素 $94.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、磷酸二铵 $189 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、氯化钾 $81 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。于2021年5月6日人工点播。6月5日开始间苗。6月25日追施尿素 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其他管理按照大田进行。图1为试验期间密山市春玉米生长季温度变化。

**1.3.2 测定项目及方法** 茎秆形态:在9月1日每个小区选择有代表性的植株10株,测量株高、穗位高。剥去茎鞘、叶,用游标卡尺,分别测定玉米茎秆地上第3节节间中部的短轴直径。

收稿日期:2022-04-10

基金项目:黑龙江省玉米产业技术协同创新推广体系;黑龙江省农垦总局重点科研计划项目(HKKY190102-02)。

第一作者:李文龙(1993—),男,硕士,研究实习员,从事玉米遗传育种研究。E-mail:1261608860@qq.com。

通信作者:高树仁(1965—),男,博士,教授,从事玉米遗传育种教学与科研工作。E-mail:gaoshir107@126.com。



图 1 密山市 2021 年玉米生长季温度变化

**茎秆机械强度:**在 9 月 10 日,每小区选择代表性植株 10 株,剥去茎鞘和叶,采用 YYD-1 型茎秆强度测定仪(浙江托普仪器有限公司生产)测定玉米茎秆地上第 3 节节间中部的穿刺强度和抗推力强度。

**倒伏率:**在 10 月 2 日,调查田间的倒伏和空秆情况,测定倒伏率和空秆率。

倒伏率(%) = 小区倒伏株数/小区总株数 × 100

**产量性状:**成熟后,每个小区实收测产。每小区选取 20 个具有代表性果穗进行室内考种。测量穗长、秃尖长,籽粒含水量、容重、百粒重等指标。

**1.3.3 数据分析** 采用 Excel 2019 对试验数据进行初步整理。用 DPS 7.05 对数据进行显著性分析和相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 株距对春玉米茎秆形态的影响

**2.1.1 株高** 由图 2 可知,不同株距条件下,敦玉 27 的株高差异达到显著水平。随着植株株距的增加,株高呈先增后降再升又降的趋势。株距为 17 cm 处理,敦玉 27 的株高最高,为 277.10 cm。株距为 23 cm 处理,敦玉 27 的株高最低,为 264.50 cm。

**2.1.2 穗位高** 由图 3 可知,不同株距条件下,随着植株株距的增加,敦玉 27 的穗位高呈降低趋势。株距为 15 cm 处理,穗位高最高,为 108.57 cm。

株距为 23 cm 处理,穗位高最低,为 101.63 cm。株距为 15 和 23 cm 处理间差异显著。

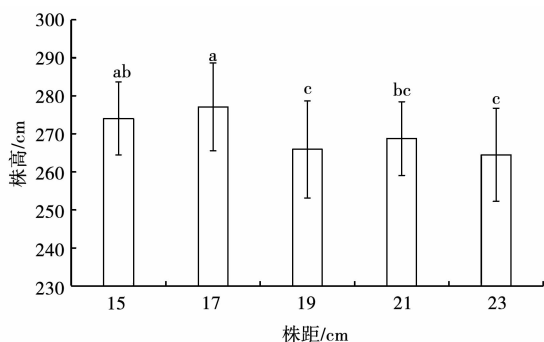


图 2 株距对敦玉 27 株高的影响

注:不同小写字母表示在  $P \leq 0.05$  水平差异显著。下同。

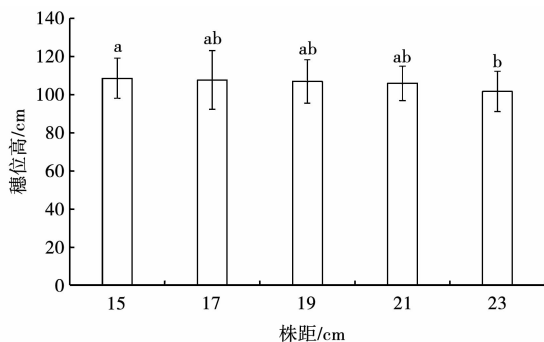


图 3 株距对敦玉 27 穗位高的影响

**2.1.3 短轴直径** 由图 4 可知,不同株距条件下玉米短轴直径差异达到显著水平。随着植株株距的增加,敦玉 27 的短轴直径呈递增趋势,株距为 15 cm 处理,短轴直径最小,为 16.40 mm,株距为 23 cm 处理,短轴直径最大,为 19.00 mm。

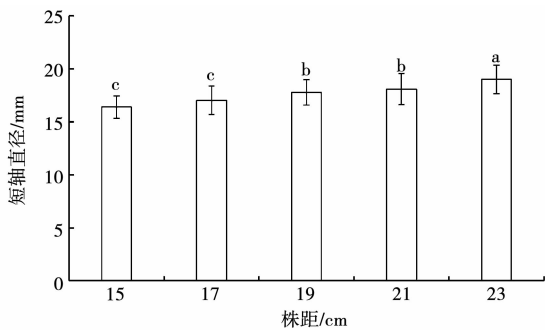


图4 株距对敦玉 27 短轴直径的影响

2.2 株距对春玉米产量相关性状的影响

2.2.1 穗长 由图 5 可知,不同株距条件下玉米穗长差异达到显著水平。随着植株株距的增加,敦玉 27 的穗长呈递增趋势,株距为 23 cm 处理,穗长最长,为 17.90 cm。株距为 15 cm 处理,穗长最短,为 15.33 cm,且与株距 21 和 23 cm 处理差异显著。

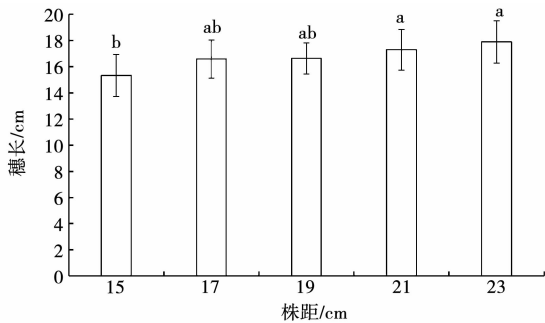


图5 株距对敦玉 27 穗长的影响

2.2.2 秃尖长 由图 6 可知,不同株距之间,敦玉 27 的秃尖长达到显著水平。株距为 19 cm 处理,敦玉 27 的秃尖最长,为 1.57 cm。株距为 23 cm 处理,敦玉 27 的秃尖最短,为 0.60 cm,且与株距 15~19 cm 处理差异显著。

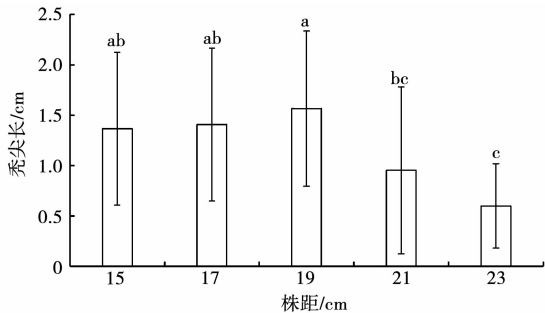


图6 株距对敦玉 27 秃尖长的影响

2.2.3 容重 由图 7 可知,敦玉 27 在不同株距下容重差异不显著。株距为 15 cm 处理,籽粒容重最大,为 751.00 g·L<sup>-1</sup>。株距为 17 cm 处理,籽粒容重最小,为 737.67 g·L<sup>-1</sup>。

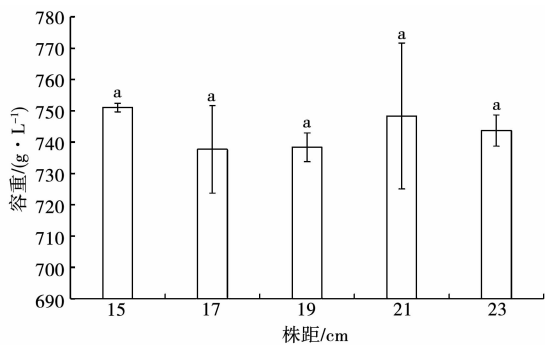


图7 株距对敦玉 27 容重的影响

2.2.4 含水量 由图 8 可知,不同株距条件下,敦玉 27 含水量差异不显著。敦玉 27 在株距为 19 cm 处理,含水量最大,为 19.13%。在株距为 21 cm 处理,含水量最小,为 18.03%。

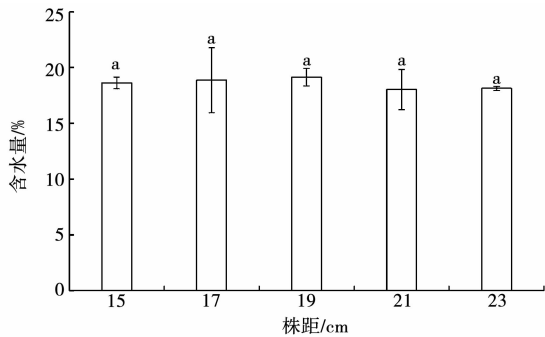


图8 株距对敦玉 27 含水量的影响

2.3 株距对春玉米产量构成因素的影响

由表 1 可知,不同株距条件下,敦玉 27 籽粒产量差异显著。随着株距的增加,敦玉 27 的产量呈先增加后降低的趋势,株距为 17 cm 处理,敦玉 27 的产量达到最高,为 756.57 kg·(667 m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>,且与株距为 15 和 19 cm 处理差异不显著;株距为 23 cm 处理,敦玉 27 的产量最低,为 584.47 kg·(667 m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>,且显著低于株距 15 和 17 cm 处理。敦玉 27 的百粒重随着株距的增加呈逐渐降低的趋势,株距为 15 cm 处理的百粒重最大,为 33.44 g,显著高于其他处理;株距为 23 cm 处理的百粒重最小,为 24.13 g。

随着株距的增加,敦玉 27 的行粒数呈逐渐降低的趋势,但各株距处理间差异不显著。株距为 15 cm 处理行粒数最大,为 36.27 粒,显著高于其他处理;株距为 23 cm 处理行粒数最小,为 26.27 粒。

随着株距的增加,敦玉 27 的穗行数呈先增加后降低的趋势,但各处理间差异不显著。株距为 15 cm 处理,穗行数最小,为 14.00 行;株距为 17 cm 处理,穗行数最大,为 14.80 行。

表 1 株距对敦玉 27 产量及其构成因素的影响

株距/cm	穗行数	行粒数	百粒重/g	产量/[kg·(667 m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]
15	14.00±1.63 a	36.27±2.35 a	33.44±3.54 a	736.90±22.62 ab
17	14.80±1.42 a	32.73±4.09 b	30.44±1.70 b	756.57±125.04 a
19	14.40±1.08 a	31.60±3.50 b	29.32±2.80 b	652.20±18.85 abc
21	14.13±1.71 a	30.13±3.91 b	28.65±3.10 b	602.38±20.90 bc
23	14.53±1.36 a	26.27±4.60 c	24.13±2.47 c	584.47±14.10 c

注:不同小写字母表示在  $P\leq 0.05$  水平差异显著。

2.4 株距对春玉米茎秆机械强度的影响

2.4.1 穿刺强度 由图 9 可知,不同株距条件下,敦玉 27 穿刺强度差异显著。随着株距的增加,敦玉 27 的穿刺强度呈现逐渐增加的趋势。株距为 15 cm 处理,敦玉 27 的穿刺强度最低,为 26.58 N,显著低于株距 19~23 cm 处理;株距为 23 cm 处理,敦玉 27 的穿刺强度最高,为 35.82 N,显著高于其他处理。

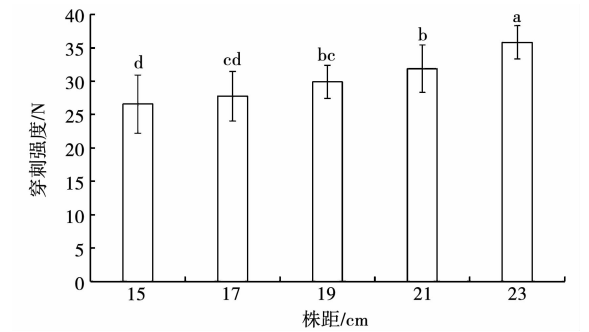


图 9 株距对敦玉 27 穿刺强度的影响

2.4.2 抗推力强度 由图 10 可知,不同株距条件下,敦玉 27 抗推力强度差异显著。随着株距的增加,敦玉 27 的抗推力强度呈现逐渐增加的趋势。株距为 15 cm 处理,敦玉 27 的穿刺强度最低,为 19.82 N,显著低于株距 19~23 cm 处理;株距为 23 cm 处理,敦玉 27 的穿刺强度最高,为 30.81 N,与株距为 21 cm 处理差异不显著,但显著高于其他3个株距处理。

2.5 株距对春玉米倒伏率的影响

由图 11 可知,不同株距条件下,敦玉 27 的倒伏率差异不显著。总体表现为倒伏率随着株距的增高而降低,株距为 15 cm 处理,敦玉 27 的倒伏率最大,为 7.81%;株距为 23 cm 处理,敦玉 27 的倒伏率最小,为 3.33%。

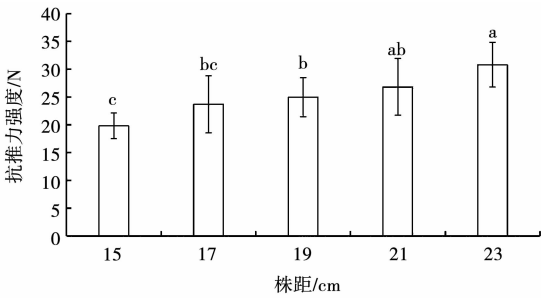


图 10 株距对敦玉 27 抗推力强度的影响

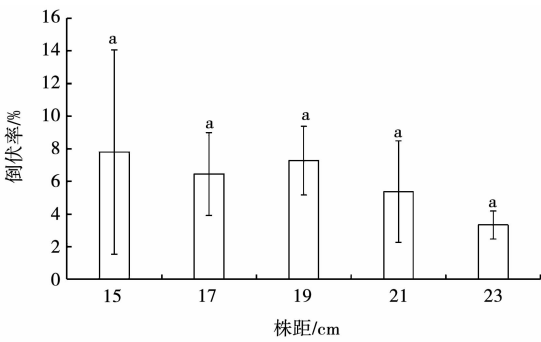


图 11 株距对敦玉 27 倒伏率的影响

2.6 春玉米不同性状与产量和倒伏率的相关性分析

由表 2 可知,敦玉 27 的产量与株高和百粒重呈显著正相关,相关系数分别为 0.91 和 0.82;与抗推力强度和穗长呈显著负相关,与短轴直径呈极显著负相关,与穿刺强度呈负相关但不具显著性。

倒伏率与秃尖长和百粒重呈极显著正相关,相关系数分别为 0.94 和 0.93;与穗位高呈显著正相关,与穿刺强度、抗推力强度、短轴直径、穗长呈显著负相关。

表 2 春玉米不同性状与产量和倒伏率的相关性分析

相关性状	穿刺强度	抗推力强度	株高	穗位高	短轴直径	产量	秃尖长	穗长	含水量	百粒重	倒伏率
产量	-0.63	-0.91*	0.91*	0.76	-0.92**	1.00	0.74	-0.81*	0.64	0.82*	0.74
倒伏率	-0.84*	-0.87*	0.55	0.85*	-0.88*	0.74	0.94**	-0.91*	0.74	0.93**	1.00

注:\*\*和\* 分别表示在 0.01 和 0.05 水平上极显著和显著相关。

3 讨论

3.1 种植密度对茎秆强度的影响

玉米茎秆形态、茎秆强度与茎秆抗倒性能具有高度的相关性,能够反映玉米品种抗倒伏能力的差异<sup>[8,12]</sup>。张美微等<sup>[13]</sup>研究表明,随着种植密度的增加,玉米株高、穗位高呈现先增高后降低的趋势。本研究发现,敦玉 27 的株高变化趋势不明显,具体原因还有待研究。随着种植株距的增加,敦玉 27 的穗位高呈现逐渐降低的趋势,这与张美微等<sup>[13]</sup>的结论基本一致。茎秆穿刺强度、弯折强度是影响玉米抗倒伏能力的重要指标<sup>[14]</sup>。郑迎霞等<sup>[15]</sup>研究表明,玉米种植密度增大后,穿刺强度和抗折力强度分别下降了 22.98%和 58.30%。本研究表明,随着株距的逐渐变大,敦玉 27 的穿刺强度和抗推力强度均呈现升高的趋势,在株距为 23 cm 时,穿刺强度和抗推力强度分别达到最大值,分别为 35.82 N 和 30.81 N,这与郑迎霞等<sup>[15]</sup>的研究结论相一致。玉米倒伏率受多个因素影响,Ma 等<sup>[16]</sup>研究表明,倒伏率与穗位高呈极显著正相关。马晓君等<sup>[17]</sup>研究表明,倒伏率与穿刺强度呈极显著负相关。刘晓林等<sup>[18]</sup>研究表明,茎秆抗倒力学特性与茎粗呈显著正相关,而与株高、节间长呈极显著负相关。本研究表明,敦玉 27 的倒伏率与秃尖长和百粒重呈极显著正相关,与穗位高呈显著正相关,与穿刺强度、抗推力强度、短轴直径、穗长呈显著负相关。

3.2 种植密度对产量因素的影响

玉米产量受栽培措施、品种、环境等因素共同影响,增加玉米种植密度是提高玉米产量的重要措施之一<sup>[19]</sup>。但是,密度过大会造成玉米光照、水肥竞争加剧,空秆、倒伏率上升,不仅限制玉米产量的提升,而且导致收割困难<sup>[14,20-21]</sup>。周刚等<sup>[22]</sup>研究表明,郅单 22 在密度为 60 000 株·hm<sup>-2</sup>时,产量达到峰值,密度为 75 000 株·hm<sup>-2</sup>时,产量下降

8.11%。本研究表明,随着株距的逐渐变大,敦玉 27 的产量先增加后降低。在株距为 17 cm 时,产量达到峰值。产量由收获穗数、穗行数、行粒数共同决定。有报道表明,随着种植密度的增加,玉米行粒数、百粒重等呈降低趋势,穗行数呈先降低后增加趋势<sup>[23]</sup>。本研究表明,随着株距的增加,敦玉 27 的百粒重和行粒数呈降低趋势。贺囡囡等<sup>[24]</sup>研究表明,桂甜 161 的穗长随着密度的增加呈下降趋势。刘忠双等<sup>[25]</sup>认为,种植密度对穗长的影响不大。本研究表明,随着株距的增加,敦玉 27 的穗长呈上升趋势,不同株距处理间差异达到显著水平。说明种植密度能显著影响雌穗长度。

4 结论

植株株距对敦玉 27 的容重、含水量、穗行数、倒伏率影响不显著;对株高、穗位高、短轴直径、穗长、秃尖长、产量、百粒重、行粒数、穿刺强度、抗推力强度影响显著。有 7 个指标与植株株距表现出趋势关系,其中穗位高、百粒重、行粒数随着株距的增加而降低,短轴直径、穗长、穿刺强度、抗推力强度随着株距的增加而增加。株距为 17 cm 时,敦玉 27 的产量最高,其最大穿刺强度和最大抗推力强度均出现在 23 cm 株距。

参考文献:

[1] 任佰朝,李利利,董树亨,等. 种植密度对不同株高夏玉米品种茎秆性状与抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报,2016,42(12):1864-1872.

[2] GRASSINI P, THORBURN J, BURR C, et al. High-yield irrigated maize in the Western U. S. Corn Belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices [J]. Field Crops Research,2010,120(1):142-150.

[3] 刘小丹,杜妍,任军,等. 2019 年美国玉米高产竞赛简报[J]. 玉米科学,2020,28(4):56-60.

[4] 余学杰,刘柏宏,柯永培,等. 密度和植物生长调节剂对瑞玉 16 株高及产量的影响研究[J]. 四川农业大学学报,2019,37(6):771-776.

[5] 陈远学,彭丹丹,胡斐,等. 2 种株型春玉米在不同种植密度下的干物质积累与养分吸收利用特征[J]. 西南农业学报,

2020,33(11):2469-2476.

- [6] 门洪文,郭守鹏,黄昌见,等. 种植密度对不同株型玉米农艺性状、产量及抗倒伏特性的影响[J]. 农学学报, 2021, 11(7):1-6.
- [7] 谷利敏,乔江方,张美微,等. 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, 25(5):91-97.
- [8] 郭书磊,陈娜娜,齐建双,等. 不同密度下玉米倒伏相关性状与产量的研究[J]. 玉米科学, 2018, 26(5):71-77.
- [9] 李宁,翟志席,李建民,等. 密度对不同株型的玉米农艺、根系性状及产量的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(5):98-102.
- [10] 柏延文,杨永红,朱亚利,等. 种植密度对不同株型玉米冠层光能截获和产量的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(12):1-14.
- [11] 郭小春,苏文楠,韩清芳,等. 密度对不同株型夏玉米光合特性与群体冠层结构的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(12):1792-1801.
- [12] 贾倩民. 半干旱区集雨补灌与种植密度对玉米生长及光合生理特性的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2018.
- [13] 张美微,屈俊峰,张盼盼,等. 减施氮肥对不同密度夏玉米产量和干物质积累特性的影响[J]. 玉米科学, 2021, 29(5):145-150.
- [14] 周永忠. 氮肥和密度对玉米抗倒伏特性的影响[J]. 农业科技通讯, 2020(7):69-71.
- [15] 郑迎霞,陈杜,魏鹏程,等. 种植密度对贵州春玉米茎秆抗倒伏性能及籽粒产量的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(4):738-751.
- [16] MA D L, XIE R Z, LIU X, et al. Lodging-related stalk

characteristics of maize varieties in China since the 1950s[J]. Crop Science, 2014, 54(6):2805-2814.

- [17] 马晓君,路明远,邢春景,等. 群体密度对夏玉米穗下茎秆性状及抗倒伏力学特性的影响[J]. 玉米科学, 2018, 26(4):118-125.
- [18] 刘晓林,马晓君,豆攀,等. 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.
- [19] 李鸿,周茂林,李晔,等. 种植密度对重庆地区玉米产量及茎秆强度的影响[J]. 作物研究, 2021, 35(1):22-27.
- [20] 芮孟阁,鲁镇胜,黄达. 种植密度对玉米农艺性状、源库性能和光合特性影响的研究进展[J]. 河南农业, 2021(28):53-55.
- [21] 薛军,董鹏飞,胡树平,等. 玉米倒伏对机械粒收损失的影响及倒伏减损收获技术[J]. 玉米科学, 2020, 28(6):116-120, 126.
- [22] 周刚,杨虎,陈光勇,等. 肥料与密度对玉米新品种郧单 22 农艺性状及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(4):43-45, 55.
- [23] 曹改萍,董红建,侯波,等. 密度对不同玉米品种产量及其构成因素的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(11):1290-1294.
- [24] 贺囡囡,韦桂旺,冯云敢,等. 种植密度对超甜玉米新品种主要农艺性状和产量的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(11):2521-2529.
- [25] 刘忠双,毛同艳,张淑兰,等. 不同种植密度对玉米杂交种庆单 6 号产量及农艺性状的影响[J]. 农业科技通讯, 2018(10):62-65.

# Effects of Plant Spacing on Yield and Stem Strength of Spring Maize

LI Wen-long<sup>1,2</sup>, REN Guo-xin<sup>1</sup>, SUN Li-fang<sup>1,2</sup>, DENG Jie<sup>1,2</sup>, WANG Xia<sup>1,2</sup>, GAO Shu-ren<sup>1,2</sup>

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;

2. Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation Technology and Crop Germplasm Improvement, Daqing 163319, China)

**Abstract:** In order to investigate the relationship among density, stem strength and yield, the maize variety Dunyu 27 was used as experimental material to compare the effects of plant space on stalk strength and yield, under 5 different plant spacing conditions of 15, 17, 19, 21 and 23 cm, respectively. The results indicated that ear height, 100-kernel weight and grains per row decreased with the increase of plant spacing, while short axis diameter, panicle length, puncture strength and thrust resistance strength increased with the increase of plant space. There were no significant effect on test weight, water content, panicle row number and lodging rate of Dunyu 27 by all levels of plant space. However, plant height, spike height, short axis diameter, spike length, spike tip, yield, 100-grain weight, row kernel number, puncture strength and thrust resistance strength were significantly affected. The optimal plant space was 17 cm and the plot yield of Dunyu 27 was higher than all others, which was  $756.57 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ . The maximum puncture strength and maximum thrust strength both observed at 23 cm, which were 35.82 and 30.81 N respectively.

**Keywords:** maize; stalk strength; puncture strength; thrust strength; yield