

膜下滴灌增密对不同玉米品种农艺性状及产量的影响

徐发海 徐尤先 吕庆长 李秋梅 何永健

(云南省宣威市农业技术推广中心,宣威 655400)

摘要:针对云南高原宣威市玉米生产面临的季节性缺水、种植密度不足及单产水平低等问题,以膜下滴灌技术为支撑,通过裂区试验系统研究不同种植密度(6.0 万株/ hm^2 、 7.5 万株/ hm^2 、 9.0 万株/ hm^2)对5个玉米品种(宣瑞599、金玉汇3号、云瑞55、敦玉810、吨粮玉11)农艺性状及产量的影响。结果表明,密度增加对玉米生育进程无显著影响,但可显著调控植株性状和穗部性状;在倒伏倒折率、穗粗、穗长、秃尖长、产量等性状上,品种与密度间存在极显著互作效应。紧凑型品种宣瑞599和金玉汇3号表现出优良耐密性,在 9.0 万株/ hm^2 高密度下产量分别达 $17121.22kg/hm^2$ 和 $16484.98kg/hm^2$,较传统密度分别增产 27.02% 和 18.91% ,且空秆率低、穗部性状稳定;半紧凑型品种云瑞55和平展型品种敦玉810在高密度下减产达 8.89% 和 6.42% ,倒伏倒折风险增加。回归分析进一步量化了品种耐密阈值,宣瑞599极限密度达 9.92 万株/ hm^2 ,极限产量 $17666kg/hm^2$ 。研究结果为云南高原地区玉米密植栽培提供了品种筛选依据和技术路径,通过水肥—密度协同优化,可实现单产提升与资源高效利用,对区域粮食安全及产业转型升级具有重要的推广应用价值和实践参考意义。

关键词:膜下滴灌;玉米;裂区设计;密种互作;密度;产量;品种筛选

Effects of Increased Planting Density under Mulch-Drip Irrigation on Agronomic Traits and Yield in Maize

XU Fahai, XU Youxian, LYU Qingchang, LI Qiumei, HE Yongjian

(Xuanwei Agricultural Technology Extension Center, Xuanwei 655400, Yunnan)

云南省作为我国重要的玉米产区,常年种植面积超过 191.75 万 hm^2 ^[1]。宣威市是典型的高原玉米种植区,该地区玉米种植面积 7.50 万 hm^2 ,总产量 4.87 万 kg ,玉米已成为宣威市最大的粮食作物。宣威市地处低纬高海拔地区,立体气候显著,年温差小、日温差大,光照充足,土壤为酸性红壤,具有独特的气候条件和生产特点。但是,该地区玉米生产常面临季节性缺水、种植密度不足、单产水平低等突出问题,如何通过技术创新提升云南高原地区玉米单产水平,已成为当地农业发展的关键课题,亟需选育出具有较大产量潜力的新品种,配套相应的高产栽培措施。

膜下滴灌技术是现代农业节水灌溉的重要手

段,增加种植密度是提高玉米单产最关键的栽培途径之一^[2],通过地膜覆盖改善土壤温湿度条件,结合滴灌系统实现水肥精准调控,为玉米高产栽培提供了新的技术路径^[3]。近年来,国内学者围绕玉米密植栽培技术开展了大量研究,这些研究为玉米密植高产栽培提供了重要的理论基础。然而,现有研究多集中于北方平原地区,对云南高原地区膜下滴灌条件下不同玉米品种对密度响应的差异性研究相对较少。

本研究旨在系统分析云南省宣威市膜下滴灌条件下不同玉米品种对密度增加的响应特征,明确品种与密度的互作效应,筛选出适宜当地密植的高产优质品种。通过深入研究密度调控对不同品种产量形成的影响机制,为云南宣威高原地区构建高效的玉米密植栽培技术体系提供理论依据和技术支

撑。研究结果将对促进当地玉米产业转型升级、保障区域粮食安全具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选用当前宣威市推广面积较大的3种株型优良普通玉米品种参加试验,分别为紧凑型品种宣瑞599、金玉汇3号,半紧凑型品种云瑞55、吨粮玉11,平展型品种敦玉810。

1.2 试验地基本情况 试验选择在宣威市农业示范基地开展,海拔1976m,地理位置26°06'N、104°02'E,年平均气温12.8~14.7℃,土壤为弱酸性红壤,肥力中等。

1.3 试验设计 试验采用两因素裂区设计,以种植密度(D)为主区,设置3个处理:D_{6.0}(6.0万株/hm²)、D_{7.5}(7.5万株/hm²)、D_{9.0}(9.0万株/hm²);以品种为副区,共5个品种处理和15个处理组合。D_{6.0}为传统种植密度,设为每个品种的密度对照。每个处理组合重复3次,小区面积33.28m²(6.50m×5.12m),10行区,0.9m+0.4m宽窄行种植,株距根据不同密度设置。

1.4 田间管理 于2025年4月27日大田统一种植,播前进行机械化开沟、施底肥、起浅垄、铺设单滴管带、覆膜,垄宽1.3m。采用人工播种,每hm²施底肥复合肥(15-15-15)400kg,追肥按玉米生

长需肥规律结合灌溉适时进行,分别在7片展叶期、大喇叭口期、吐丝期和乳熟期共追肥4次,整个生长期每hm²共施N 350kg、P₂O₅ 150kg、K₂O 180kg。在6~7片展叶期人工喷雾胺鲜乙烯利1次,对玉米进行化学控旺;适时中耕管理和防控病虫草害。

1.5 测定项目与方法 在生长期记载播种期、出苗期、抽雄期、吐丝期、成熟期,调查出苗率。蜡熟期在每个小区最中间2行中部连续选取20株调查株高和穗位高。收获前调查每个中间6行实有株数、实有果穗数、空秆数、倒伏倒折率等。玉米完全成熟后收取小区中间6行(20m²)的全部果穗,称其鲜重,测算收获果穗数和平均单穗重,采用平均穗重法选取20个果穗,作为样品考种,测量穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数;脱粒后称量籽粒鲜重、百粒重,用PM8188A型水分测定仪测定籽粒含水量;按国家标准含水量14%折算每hm²产量、百粒重,产量(kg/hm²)=小区鲜穗重×出籽率(%)×[(1-含水量(%))/(1-14%)]×500。

2 结果与分析

2.1 增密对不同品种生育进程及出苗率的影响 由表1可知,同一品种在不同密度下的生育期无较大变化,仅不同品种间的生育期存在差异。参试品

表1 不同品种不同密度下的生育进程及生育期

品种	密度	出苗期(月/日)	抽雄期(月/日)	吐丝期(月/日)	成熟期(月/日)	生育期(d)	出苗率(%)
宣瑞599	D _{6.0}	5/4	7/17	7/17	9/27	147	97.78±0.48a
	D _{7.5}	5/4	7/18	7/18	9/27	147	97.17±1.04a
	D _{9.0}	5/4	7/16	7/16	10/7	147	97.59±0.85a
金玉汇3号	D _{6.0}	5/4	7/15	7/15	9/30	149	96.94±2.10a
	D _{7.5}	5/4	7/15	7/15	9/30	149	96.67±0.67a
	D _{9.0}	5/4	7/14	7/14	9/30	149	97.41±0.85a
云瑞55	D _{6.0}	5/4	7/18	7/18	10/5	154	97.22±0.96a
	D _{7.5}	5/4	7/18	7/18	10/5	154	97.11±0.77a
	D _{9.0}	5/4	7/18	7/18	10/6	155	97.41±2.31a
敦玉810	D _{6.0}	5/4	7/13	7/14	10/1	150	96.39±1.73a
	D _{7.5}	5/4	7/13	7/14	10/1	150	97.89±0.51a
	D _{9.0}	5/4	7/13	7/14	10/1	150	97.22±0.96a
吨粮玉11	D _{6.0}	5/4	7/16	7/16	9/28	147	96.39±0.48a
	D _{7.5}	5/4	7/16	7/16	9/28	147	97.33±0.67a
	D _{9.0}	5/4	7/15	7/15	9/30	149	97.59±1.95a

同列不同小写字母表示在0.05水平上存在显著差异,下同

种的生育期为 147~155d, 关键物候期(出苗期、抽雄期、吐丝期、成熟期)均未受密度影响, 表明在本试验条件下, 增加种植密度并未改变玉米的基本生育进程, 品种自身遗传差异是决定生育期的首要因子。各品种出苗率均>96.00%, 出苗稳定, 宣瑞 599 在 $D_{9.0}$ 密度下仍达 97.59%, 说明膜下滴灌技术保障了高密度下的出苗质量。

2.2 增密对不同品种植株性状的影响 表 2 的方差分析表明, 密度对株高、穗位高、倒伏倒折率和空秆率均具有极显著影响($P<0.01$), 品种对株高、穗位高和倒伏倒折率的影响达极显著水平($P<0.01$), 但密度与品种的互作效应仅在穗位高和倒伏倒折率上显著($P<0.05$), 表明植株高度主要受遗传因素主导, 而抗倒伏能力则更易受密度与品种的协同调控。

密度对株高和穗位高的影响均达到极显著水平, 说明增密显著促进了植株的纵向生长。如表 3 所示, 所有品种的株高和穗位高均随密度增加而上

升, 但不同品种的响应程度存在差异。随着种植密度从 $D_{6.0}$ 增至 $D_{9.0}$, 宣瑞 599、金玉汇 3 号、敦玉 810 和吨粮玉 11 株高增加 10.43~12.57cm, 云瑞 55 株高增幅较小, 仅为 3.24cm, 但 $D_{9.0}$ 密度下株高数据标准差达 ± 8.00 cm, 表明个体间生长稳定性可能受密度胁迫影响; 穗位高在 $D_{9.0}$ 密度下较 $D_{6.0}$ 增加 3.67~8.00cm, 除宣瑞 599 外, 其余品种在 $D_{7.5}$ 密度与 $D_{9.0}$ 密度下的穗位高无显著差异。

所有品种倒伏倒折率与空秆率均随密度增加呈上升趋势。金玉汇 3 号对密度增加最敏感, $D_{9.0}$ 密度下倒伏倒折率达 4.57%, 明显高于其他品种; 云瑞 55 空秆率在 $D_{9.0}$ 时达 8.92%, 较 $D_{6.0}$ (1.43%) 增加了 7.49 个百分点, 可能与其半紧凑株型在群体郁闭环境下光合效率骤降有关; 宣瑞 599 和吨粮玉 11 在 $D_{9.0}$ 密度下倒伏倒折率仅 0.76%、0.95%, 表明其茎秆抗折性强, 可能与品种特定的机械组织发育特性相关。

表 2 不同植株性状的方差分析

变异来源	株高		穗位高		倒伏倒折率		空秆率	
	F	P	F	P	F	P	F	P
密度	105.999	<0.001	27.726	0.005	163.302	<0.001	18.707	0.009
品种	345.248	<0.001	331.467	<0.001	35.492	<0.001	4.045	0.012
密度 × 品种	2.150	0.07	3.243	0.012	11.663	<0.001	1.889	0.109

表 3 不同品种不同密度下的植株性状

品种	密度	株高(cm)	穗位高(cm)	倒伏倒折率(%)	空秆率(%)
宣瑞 599	$D_{6.0}$	308.20 ± 1.47 c	137.53 ± 0.75 c	0 ± 0b	0.85 ± 0.85 a
	$D_{7.5}$	314.70 ± 1.06 b	140.20 ± 0.56 b	0.46 ± 0.40 ab	2.60 ± 2.81 a
	$D_{9.0}$	318.63 ± 0.83 a	145.53 ± 1.16 a	0.76 ± 0.33 a	4.93 ± 2.62 a
金玉汇 3 号	$D_{6.0}$	321.20 ± 0.95 c	138.20 ± 0.62 b	0 ± 0c	1.71 ± 0.82 b
	$D_{7.5}$	328.83 ± 0.57 b	141.87 ± 0.31 a	2.30 ± 0.41 b	3.42 ± 1.22 ab
	$D_{9.0}$	331.93 ± 0.61 a	141.87 ± 0.65 a	4.57 ± 0.59 a	4.75 ± 0.65 a
云瑞 55	$D_{6.0}$	305.13 ± 1.10 a	125.77 ± 1.26 b	0 ± 0b	1.43 ± 1.80 b
	$D_{7.5}$	308.40 ± 0.79 a	134.13 ± 6.22 a	0.91 ± 0.39 ab	3.42 ± 1.87 b
	$D_{9.0}$	308.37 ± 8.00 a	132.10 ± 0.70 ab	1.89 ± 0.82 a	8.92 ± 0.97 a
敦玉 810	$D_{6.0}$	284.13 ± 0.83 c	128.27 ± 0.71 b	0 ± 0b	2.00 ± 2.13 b
	$D_{7.5}$	291.60 ± 1.25 b	132.13 ± 0.64 a	0.23 ± 0.39 b	5.81 ± 2.34 a
	$D_{9.0}$	296.70 ± 0.89 a	132.27 ± 0.42 a	1.33 ± 0.34 a	8.00 ± 0.96 a
吨粮玉 11	$D_{6.0}$	320.10 ± 0.53 c	149.77 ± 1.25 b	0 ± 0b	2.89 ± 1.81 b
	$D_{7.5}$	324.90 ± 1.35 b	156.07 ± 0.45 a	0.46 ± 0.40 ab	2.60 ± 1.09 b
	$D_{9.0}$	332.17 ± 1.10 a	156.57 ± 0.47 a	0.95 ± 0.32 a	6.65 ± 1.87 a

2.3 增密对穗部性状及产量的影响 表4的方差分析表明,密度对穗粗、穗长、秃尖长、行粒数、百粒重、产量具有极显著影响($P<0.01$),但对穗行数无显著影响($P>0.05$),这表明密植主要通过抑制穗部发育(如穗粗、穗长)和增加秃尖长度来影响产量构成。品种主效应在所有穗部性状中均具有极显著影响($P<0.01$)。密度×品种互作在穗粗、穗长、秃尖长、产量上影响极显著($P<0.01$),在行粒数上影响显著($P<0.05$),在穗行数和百粒重上影响不显著($P>0.05$),说明不同品种的穗部性状对密度的响应存在差异,密植互作效应显著。

如表5所示,随着密度增加,所有品种的穗粗、穗长、行粒数和百粒重均呈现下降趋势,不同品种的衰减幅度存在明显差异,这是群体中个体间光照和养分竞争加剧的必然结果。宣瑞599和敦玉810的穗粗随密度增加显著下降,其余品种无显著变化或仅D_{6.0}和D_{9.0}密度下存在显著差异。敦

玉810和吨粮玉11的穗长随密度增加而显著下降,其余品种D_{6.0}和D_{9.0}密度下存在显著差异。除宣瑞599和云瑞55外,其余品种秃尖长均随密度增加呈显著上升趋势。穗行数无显著变化。宣瑞599和金玉汇3号在密度升至D_{9.0}时,行粒数仍能保持在38.28粒和30.26粒,行粒数较高,敦玉810和吨粮玉11的行粒数则显著减少,这表明紧凑型品种可通过维持较高的单穗结实能力来保持较高的产量潜力;百粒重均随密度增加而显著下降。

宣瑞599和金玉汇3号表现出强大的增产潜力,在D_{9.0}密度下的产量较D_{6.0}密度分别显著增加27.02%和18.91%。云瑞55和敦玉810在D_{9.0}密度下产量反而显著低于其D_{6.0}密度水平,分别减产8.89%和6.42%,说明这2个品种可能不适宜高密度种植。吨粮玉11在D_{7.5}密度下的产量最高,较D_{6.0}密度显著增产9.99%。

表4 不同穗部及产量性状的方差分析

变异来源	穗粗		穗长		秃尖长		穗行数		行粒数		百粒重		产量	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
密度	3008.40	<0.001	253.77	<0.001	71.78	0.001	1.56	0.315	381.99	<0.001	258.55	<0.001	39.75	0.002
品种	4793.94	<0.001	154.01	<0.001	68.97	<0.001	181.53	<0.001	80.74	<0.001	954.68	<0.001	41.32	<0.001
密度×品种	393.76	<0.001	7.07	<0.001	14.52	<0.001	0.40	0.907	2.42	0.045	1.81	0.124	13.00	<0.001

表5 不同品种不同密度下的穗部及产量性状

品种	密度	穗粗(cm)	穗长(cm)	秃尖长(cm)	穗行数	行粒数	百粒重(g)	产量(kg/hm ²)	较D _{6.0} ±(%)
宣瑞599	D _{6.0}	5.91±0.08a	20.40±1.36a	0.34±0.07b	16.38±0.13a	37.76±1.35a	38.53±0.53a	13479.64±601.32b	-
	D _{7.5}	5.66±0.08b	19.42±0.44a	0.48±0.10b	16.32±0.24a	38.78±0.46a	36.72±0.46b	16070.66±779.56a	19.22
	D _{9.0}	5.36±0.08c	17.51±0.69b	0.78±0.14a	16.17±0.12a	38.28±1.27a	34.62±0.47c	17121.22±881.06a	27.02
金玉汇3号	D _{6.0}	5.75±0.08a	20.93±0.96a	0.75±0.06c	17.77±0.25a	34.08±1.27a	41.56±0.42a	13863.20±401.37b	-
	D _{7.5}	5.68±0.07a	19.04±0.26b	1.37±0.17b	17.69±0.21a	32.20±1.71ab	39.67±0.66b	15695.09±681.88a	13.21
	D _{9.0}	5.54±0.07b	17.99±0.56b	1.91±0.32a	17.56±0.18a	30.26±1.27b	38.14±0.35c	16484.98±550.49a	18.91
云瑞55	D _{6.0}	5.51±0.08a	18.21±0.39a	1.35±0.08b	17.75±0.09a	32.96±2.78a	39.77±0.64a	13531.22±347.87a	-
	D _{7.5}	5.48±0.07a	17.36±0.50a	1.99±0.33ab	17.55±0.18a	30.87±1.90a	37.33±0.82b	14115.32±556.87a	4.32
	D _{9.0}	5.37±0.08a	16.37±0.49b	2.60±0.57a	17.68±0.28a	26.54±1.18b	34.59±0.43c	12328.77±296.94b	-8.89
敦玉810	D _{6.0}	6.11±0.08a	17.45±0.48a	0.77±0.12c	15.63±0.15a	29.34±1.82a	51.78±0.23a	13790.33±141.90a	-
	D _{7.5}	5.90±0.08b	17.08±0.35b	1.24±0.11b	15.46±0.47a	26.96±1.21a	49.52±0.66b	13727.75±137.56a	-0.45
	D _{9.0}	5.61±0.08c	16.41±0.39c	1.82±0.09a	15.50±0.15a	22.29±1.23b	47.37±0.36c	12905.10±306.83b	-6.42
吨粮玉11	D _{6.0}	6.01±0.08a	21.20±0.38a	0.21±0.04c	16.73±0.21a	27.81±0.62a	49.73±0.54a	12844.76±405.84c	-
	D _{7.5}	5.95±0.08ab	19.63±0.82b	1.73±0.26b	16.67±0.03a	26.46±1.49ab	46.82±0.90b	14127.74±231.75a	9.99
	D _{9.0}	5.81±0.08b	18.34±0.48c	2.94±0.27a	16.43±0.21a	23.81±1.89b	44.22±0.32c	13487.88±235.23b	5.01

2.4 线性回归分析 为精确量化不同玉米品种产量对种植密度的响应规律,并确定其最优种植密度,进一步采用二次回归模型对密度与产量的关系进行拟合分析。该分析超越简单的均值比较,从动态变化角度揭示品种的耐密特性。由图1可知,5个品种的密度与产量关系均符合二次曲线特征,决定系数(R^2)均大于0.81,表明模型拟合优度高,能可靠地反映其内在规律。各品种的拟合方程为:宣瑞599: $y_1=-272.51x_1^2+5406.2x_1-9147.3, R_1^2=0.9131$;金玉汇3号: $y_2=-231.56x_2^2+4347.3x_2-3884.3, R_2^2=0.8538$;云瑞55: $y_3=-526.81x_3^2+7501.3x_3-12512, R_3^2=0.8274$;敦玉810: $y_4=-168.9x_4^2+2238.5x_4+6440, R_4^2=0.8461$;吨

粮玉11: $y_5=-427.3x_5^2+6623.9x_5-11516, R_5^2=0.8185$ 。品种间的曲线形态与顶点位置差异显著,直观印证了品种是决定耐密性的关键因素。通过二次加平台模型拟合,计算出各品种的理论极限密度与极限产量。紧凑型品种宣瑞599和金玉汇3号表现出卓越的耐密高产潜力,其理论极限密度分别可达9.92万株/ hm^2 和9.39万株/ hm^2 ,对应极限产量分别为17666kg/ hm^2 和16520kg/ hm^2 。相比之下,半紧凑型品种云瑞55与平展型品种敦玉810的理论极限密度较低,分别为7.12万株/ hm^2 和6.63万株/ hm^2 ,且极限产量也显著低于前两者。本回归分析从数学模型层面证实,增密不一定增产,其效果取决于品种选择。

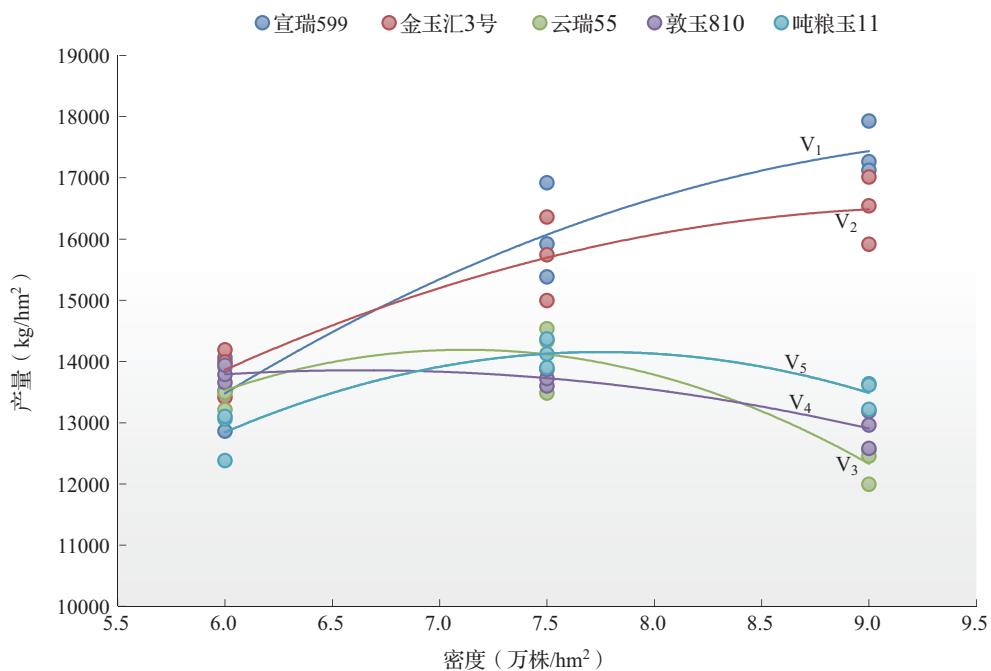


图1 不同品种的种植密度与产量的回归关系

3 讨论

本研究通过裂区设计系统解析了云南高原膜下滴灌条件下玉米品种与密度的互作效应,玉米品种对种植密度增加的响应存在显著的基因型差异,“密种互作”效应是决定增产效果的关键^[4]。紧凑型品种宣瑞599和金玉汇3号在9.0万株/ hm^2 高密度下产量分别达17121.22kg/ hm^2 和16484.98kg/ hm^2 ,分别增产27.02%和18.91%,表现出优良的耐密性,符合严建兵等^[5]提出的“密植高产应作为玉米育种核心目标”的观点。宣瑞599在高密度下仍保持较高行粒数(38.28粒)和较低的秃尖长(0.78cm),表明其具有良好的光合效率,印证了杨清龙等^[6]关于

耐密品种籽粒灌浆特性的研究结果。但是,半紧凑型品种云瑞55与平展型品种敦玉810在密度提升至9.0万株/ hm^2 时,产量分别下降8.89%和6.42%,这与陈传永等^[7]报道的品种表现类似,即平展型或半紧凑型玉米品种在高密度下通风透光性下降,个体竞争加剧,空秆率上升,穗部性状劣变。金玉汇3号虽增产显著,但其高密度下倒伏倒折率相对略高,达4.57%,因此耐密性高产栽培除保证群体产量稳定性外,还应兼顾个体抗倒伏等抗逆性能^[8-9]。

本研究系统量化了膜下滴灌条件下不同株型玉米的密度耐受阈值。经二次加平台模型拟合,宣瑞599的极限密度达9.92万株/ hm^2 ,极限产量为

17666kg/hm², 高于李晓红等^[10]在西辽河平原相同密度下的产量水平, 表明云南宣威地区玉米品种在膜下滴灌技术支撑下具有较大增产潜力。本研究补充了现有研究多集中于北方平原地区的不足^[11-13], 为高原玉米生产提供了区域数据支持。

综上, 在云南宣威市等低纬高原地区, 玉米单产提升需兼顾品种耐密性与密度阈值, 结合膜下滴灌技术, 将种植密度从传统6.0万株/hm²提升至7.5万~9.0万株/hm², 可显著提高玉米单产。紧凑型品种宣瑞599和金玉汇3号在9.0万株/hm²密度下增产潜力大, 其株高稳定性和低空秆率优于平展型品种; 密度超过7.5万株/hm²时, 半紧凑型品种云瑞55和平展型品种敦玉810产量下降幅度较大, 行粒数和百粒重对密度响应最敏感, 穗行数稳定性最好, 表明其受遗传调控更强。因此, 在筛选玉米耐密品种和推广密植高产技术时, 结合膜下滴灌可实现水肥—密度协同优化, 奠定品种高产稳产基础。本研究尚存在一定的局限性, 其结论的普适性仍需多年多点试验验证, 以期更好地为云南宣威地区玉米产业升级提供技术支撑。

参考文献

- [1] 李永贤, 郭俊廷, 张林, 张恒, 平秀敏. 云南省玉米生产现状及对策建议. 中国农技推广, 2024, 40 (6): 7-8, 14
 [2] 刘奕, 闫振华, 鲁镇胜, 杨鹏辉, 郭栋, 明博, 高尚, 谢瑞芝, 王克如,
 (上接第95页)

不同生态区、品种、土壤类型的技术参数优化试验, 制定区域性技术操作规程, 提高技术适配性和应用效果。第三, 健全长效推广机制。建立“政府补贴+企业让利+农户自筹”的成本分担机制, 降低农户采纳门槛; 将ARC技术纳入当地主推技术目录, 与农业保险、信贷支持等政策挂钩。第四, 完善技术服务体系。加强基层农技人员培训, 组建技术服务团队, 采用“线上咨询+线下指导”相结合的方式, 提升服务效率; 培育家庭农场、合作社等新型经营主体, 发挥其示范带动作用, 推动小农户与现代农业有机衔接。第五, 扩大推广应用范围。依托全国农业技术推广服务中心平台, 在黄淮海、长江流域等花生主产区开展多点示范, 加快技术全国推广步伐; 加强技术宣传, 通过电视、网络、短视频等多种渠道, 提升技术知晓度和农户采纳意愿。

- 李少昆. 玉米密植精准调控技术下产量提升优势品种分析. 中国种业, 2025 (3): 64-68, 76
 [3] 卢长春. 皖北夏玉米密植滴灌水肥一体化高产栽培技术. 农业工程技术, 2025, 45 (14): 30-31
 [4] 曹月红. 覆膜和露地条件下密度和灌溉量对玉米生长发育和产量的影响. 石河子: 石河子大学, 2024
 [5] 严建兵, 赵久然. 密植高产——我国玉米育种的最核心目标. 生物技术通报, 2023, 39 (8): 1-3
 [6] 杨清龙, 李国芳, 赵菁菁, 苗中芹. 种植密度对玉米产量及籽粒灌浆特性的影响. 安徽农学通报, 2025, 31 (14): 7-10
 [7] 陈传永, 王元东, 张春原, 吴珊珊, 毛振武, 杨海涛, 赵久然. 不同玉米品种的耐密效应分析. 种子, 2020, 39 (7): 131-136
 [8] 王群, 薛军, 张国强, 王凤, 陈江鲁, 谢瑞芝, 明博, 侯鹏, 王克如, 李少昆. 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. 玉米科学, 2021, 29 (2): 124-130
 [9] 姚森崇. 不同栽培措施对玉米抗倒伏能力的影响. 银川: 宁夏大学, 2024
 [10] 李晓红, 王克如, 张国强, 明博, 薛军, 方梁, 张婷婷, 叶建全, 李少昆. 增密和株行距优化提高西辽河平原沙地滴灌玉米的产量与水氮利用效率. 中国农业科学, 2025, 58 (14): 2766-2781
 [11] 宋朝玉, 修翠波, 黄俊杰, 范学鹏, 王圣健, 宫明波. 滴灌水肥一体化模式下夏玉米品种筛选研究. 山东农业科学, 2022, 54 (12): 104-108
 [12] 卢庭启, 张华, 程红霞, 蒋晓芳, 庞启华, 王秀全, 何丹. 种植密度对不同玉米品种农艺性状及产量的影响. 现代农业科技, 2022 (19): 1-4, 9
 [13] 孟战赢, 王育红, 郭党, 田文仲, 李俊红, 吕军杰, 李芳. 不同密植栽培模式对夏玉米产量的影响. 耕作与栽培, 2025, 45 (5): 14-18

(收稿日期: 2025-11-19)

参考文献

- [1] 济宁市统计局. 济宁统计年鉴 2023. (2023-10-30) [2025-11-25]. http://tjj.jining.gov.cn/art/2025/2/6/art_6793_2706566.html
 [2] 泉州市农业农村局. 泉州市农科所引进ARC菌剂在花生上应用增产效果显著. (2024-01-05) [2025-11-25]. http://nyncj.quanzhou.gov.cn/nks/kydt/202401/t20240105_2990544.htm
 [3] 于媛玮, 于强, 宋福荣, 姜慧, 毛劲, 唐晓倩, 张奇, 李培武. 花生油全产业链黄曲霉毒素管控应用技术研究进展. 农业工程学报, 2025, 41 (11): 26-34
 [4] 赵秀兰, 吉萍萍, 洪宇轩, 古皓华, 蔡航, 温茗博, 朱嘉铭, 岳晓凤, 梁美娟, 唐晓倩, 李友国, 张奇, 李培武. ARC-BBBE在长江流域花生产区试验示范效果. 中国油料作物学报, 2024, 46 (6): 1357-1363
 [4] 韩亚伟, 骆恒斌, 张旭. ARC微生物菌剂对花生主要农艺性状的影响. 乡村科技, 2025, 16 (1): 85-89
 [5] 王兴祥, 张桃林, 戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展. 土壤, 2010, 42 (4): 505-512

(收稿日期: 2025-11-25)