

豫东平原夏玉米超高产栽培技术路线探讨

王建设¹,赵志宏²,郭振升³,李伟华⁴,赵洪献⁵,皇甫自起³,张慎举³

(¹河南省商丘市农业局,河南商丘 476000;²河南省商丘市种子管理站,河南商丘 476000;

³商丘职业技术学院,河南商丘 476005;⁴商丘学院,河南商丘 476000;

⁵河南省三河种业有限公司,河南宁陵 476742)

摘要:为了探讨豫东平原夏玉米超高产栽培技术路线,选用4个主导品种,采取理论测产与实收测产相结合,对项目组夏玉米超高产攻关田及农户高产田进行产量及产量构成因素调查,划分为3个产量水平,进行产量构成三要素与产量的相关及通径分析。结果表明:产量水平从10500~12000 kg/hm²提高至12000~13500 kg/hm²,收获穗数增加7736.25穗/hm²,增加了10.69%;产量增加1343.4 kg/hm²,增加了11.97%。产量水平由12000~13500 kg/hm²提高至13500 kg/hm²以上,收获穗数增加6333.75穗/hm²,增加了7.91%;产量增加1482.6 kg/hm²,增加了11.80%。直接通径系数,穗数(X_1)为0.8146,穗粒数(X_2)为0.1233,千粒重(X_3)为0.1275,表明对产量的贡献大小依次为穗数>千粒重>穗粒数。因此,豫东平原夏玉米超高产栽培,应通过增加种植密度进一步提高产量。‘中单909’、‘登海605’、‘登海618’、‘郑单958’等品种,豫东平原夏玉米实现13500 kg/hm²以上的产量,种植密度为87000~91500株/hm²,收获穗数为84000~88500穗/hm²、穗粒数480~485粒、千粒重330~340 g。

关键词:夏玉米;超高产;栽培;通径分析;技术路线;技术途径

中图分类号:S513

文献标志码:A

论文编号:casb18080084

Cultivation Technical Route of Super High Yield Summer Maize in Yudong Plain

Wang Jianshe¹, Zhao Zhihong², Guo Zhensheng³, Li Weihua⁴, Zhao Hongxian⁵, Huangfu Ziqi³, Zhang Shenju³

(¹Shangqiu City Agricultural Bureau, Shangqiu Henan 476000; ²Shangqiu City Seed Management Station, Shangqiu Henan 476000; ³Shangqiu Vocational and Technical College, Shangqiu Henan 476005; ⁴Shangqiu College, Shangqiu Henan 476000;

⁵Henan Sanhe Seed Industry Co., Ltd, Ningling Henan 476742)

Abstract: To discuss the technical route of super high yield cultivation of summer maize in Yudong plain, four dominant varieties were selected, and theoretical measurement and actual production were combined to investigate the yield and yield components of the experimental high-yield field and farmers' high-yield field. The survey was divided into three production levels, and the correlation and path analysis of the three components of production and production were carried out. The results showed that the yield level increased from 10500–12000 kg/hm² to 12000–13500 kg/hm², and the number of harvested spikes increased by 7736.25 spikes/hm², with an increase of 10.69%; the yield increased by 1343.4 kg/hm², with an increase of 11.97%. The yield level increased from 12000–13500 kg/hm² to 13500 kg/hm² above, and the number of harvested spikes increased by 6333.75 spikes/hm², with an increase of 7.91%; the yield increased by 1482.6 kg/hm², an increase of 11.80%. The direct path coefficient, the number of spikes (X_1) was 0.8146, the number of kernels per spike

基金项目:河南省科技攻关计划项目“豫东平原区小麦玉米两熟农艺农机配套技术研究与应用”(14210210024);商丘市科技攻关计划项目“小麦玉米两熟超高产栽培技术体系研究与应用”(153022);河南省高等学校重点科研项目“小麦玉米超高产栽培技术研究与应用”(16A210038)。

第一作者简介:王建设,男,1964年出生,河南宁陵人,高级农艺师,本科,学士,主要从事农业科技教育及种植业生产技术管理工作等。通信地址:476000 河南省商丘市府前路1号 商丘市农业局,E-mail:wjssqny@126.com。

通讯作者:张慎举,男,1955年出生,河南睢县人,教授,硕士生导师,河南省小麦玉米两熟超高产栽培技术创新团队带头人,主要从事植物营养及作物栽培技术方面的教学与科研工作等。通信地址:476005 河南省商丘市神火大道南段566号 商丘职业技术学院,Tel:0370-3182006,E-mail:13837081256@163.com。

收稿日期:2018-08-21,**修回日期:**2018-10-05。

(X_2) was 0.1233, and the weight per thousand (X_3) was 0.1275, indicated that the contribution to yield was panicle number>1000 grain weight>kernels per spike. Therefore, in the high-yield cultivation of summer maize in Yudong plain, the yield could be further increased by increasing the planting density. Varieties of ‘Zhongdan 909’, ‘Denghai 605’, ‘Denghai 618’, ‘Zhengdan 958’ and so on in the Yudong plain could achieve a yield of 13500 kg/hm² or more, with the planting density of 87000–91500 plants/hm², harvested spike of 84000–88500 spikes/hm², kernels per spike of 480–485, and the 1000-grain weight of 330–340 g.

Keywords: summer maize; super high yield; cultivation; path analysis; technical route; technical approach

0 引言

玉米是中国第一大粮食作物,在国家粮食安全保障和国民经济持续发展中起着重要作用,粮食安全要求玉米单产必须稳定递增^[1-2]。中国2008年开始实施主要粮食作物高产创建项目,2013年启动实施粮食增产模式攻关,2014年提出粮食绿色增产模式攻关,2016年开始实施粮食作物绿色高产高效创建项目^[3],随着玉米高产创建和高产研究不断深入,玉米高产点覆盖面不断增加,高产重演性得到极大提高^[2]。但生产实践中还普遍存在高产典型重现率较低,大面积推广难的问题。缩小农户生产田和高产攻关田之间的产量差距,大面积提高玉米产量水平,是玉米超高产栽培技术与推广的主攻方向^[4-5]。不同产量水平在其产量性能各项参数的配置上不同,分析参数构成特点是探索高产途径的重要依据^[5],针对目前豫东平原玉米生产水平,研究明确夏玉米12000~13500 kg/hm²以上超高产技术路线具有重要意义。关于玉米农艺(穗部)性状与产量的相关及通径分析报道较多^[6-9],而对玉米产量构成三要素与产量的相关及通径分析报道较少^[10-12],笔者通过不同玉米品种产量构成三要素与产量的相关及通径分析,对夏玉米超高产栽培的技术途径进行探讨,结合玉米超高产栽培科技攻关的实践,提出豫东平原夏玉米超高产栽培的技术路线,以期为豫东平原夏玉米超高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究数据来源于河南省科技攻关计划项目、河南省高等学校重点科研项目、商丘市科技攻关计划项目的夏玉米高产攻关田间测产验收调查和夏玉米高产创建农户高产典型田间测产调查。

1.2 调查方法

调查的玉米品种。选取豫东平原超高产栽培常用的‘中单909’、‘登海605’、‘登海618’、‘郑单958’。2017年夏玉米生长季,在高产大田进行夏玉米超高产攻关研究,收获前进行田间测产验收调查。选择种植上述品种的夏玉米高产农户,进行田间测产调查。每

个品种每个产量水平平均调查3个点次。数据采集于民权县、柘城县。主要调查产量及产量构成因素。产量测定采取理论测产与实收测产相结合,以实收测产校正理论测产产量构成因素数据,使产量构成因素数据符合实测产量。

理论测产。每个地块随机取3个样点,每个样点量10个行距计算平均行距,在10行之中选取有代表性的20 m双行,计数株数和穗数,计算hm²穗数;在每个测定样段内每隔5穗收取1个果穗,共计收获20穗作为样本测定穗粒数。脱粒测定玉米籽粒千粒重,用种子水分测定仪测定籽粒含水量,计算扣除过多水分的千粒重。样品留存,等自然风干后再校正籽粒含水量。

实收测产。每个地块在远离边际的位置随机选取3个样点,每个样点取有代表性的6行,面积6.7 m²,收获全部果穗,计数后称取鲜果穗重。按平均穗重法取20个果穗作为标准样本测定鲜穗出籽率和含水率,并准确丈量收获样点实际面积。或每个样点采用籽粒直收型联合收割机收获667 m²以上,现场称重,除去杂质,用谷物水分测定仪测定玉米籽粒含水量,按标准含水量14%计算实际产量。

1.3 产量水平等级划分

玉米栽培专家普遍认为,中国玉米产量超过15000 kg/hm²为超高产水平^[13]。全国粮食高产创建活动黄淮海地区万亩连片高产创建示范区玉米产量指标,2012年以前为12000 kg/hm²以上(农农发(2008)7号、农办财(2012)62号),2013年调整为10500 kg/hm²以上(农办财(2013)37号),根据玉米高产创建的实际情况,笔者确定豫东平原夏玉米12000 kg/hm²以上即为超高产。将10500 kg/hm²以上的产量分为10500~12000 kg/hm²、12000~13500 kg/hm²和13500 kg/hm²以上3个水平,分析夏玉米产量从10500 kg/hm²提高到13500 kg/hm²以上产量结构的变化,探讨夏玉米实现13500 kg/hm²以上产量的技术途径,为建立实现13500 kg/hm²以上产量的夏玉米超高产栽培技术体系提供理论依据^[14]。

1.4 数据分析

应用Microsoft Office Excel 365进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 夏玉米不同品种 10500~13500 kg/hm²以上产量构成因素分析

由表 1 可知,4 个品种 12 个点次平均产量为 12608.41 kg/hm²,种植密度为 82173.75 株/hm²,收获穗数 79647.50 穗/hm²、穗粒数 478.07 粒、千粒重 330.66 g。由表 1 可见,4 个品种的种植密度、收获穗数变异系数分别为 9.00%、8.43%,显著高于穗粒数和千粒重,说明夏玉米产量从 10500 kg/hm²增加到 13500 kg/hm²以上,

种植密度、收获穗数的变化较大,穗粒数、千粒重的差异较小;种植密度、收获穗数、穗粒数、千粒重与籽粒产量之间相关系数分别为 0.9848、0.9830、0.8050、0.7829,均达到极显著水平,说明种植密度、收获穗数、穗粒数、千粒重对籽粒产量均有显著的正相关效应。

从表 1 可以看出,豫东平原夏玉米实现 10500~13500 kg/hm²以上的产量,种植密度为 69195~91530 株/hm²,收获穗数为 67605~88695 穗/hm²、穗粒数 472.86~485.38 粒、千粒重 323.23~340.13 g。

表 1 夏玉米不同品种 10500~13500 kg/hm²以上产量及其构成因素

产量水平	品种名称	密度/(株/hm ²)	穗数/(穗/hm ²)	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/(kg/hm ²)
13500 kg/hm ²	中单 909	91530	88695	485.38	340.13	14642.85
	登海 605	90915	87090	483.52	337.26	14202.00
	郑单 958	88530	85170	479.98	334.73	13683.75
	登海 618	88005	84840	480.04	335.16	13650.00
12000~13500 kg/hm ²	中单 909	84945	82140	479.18	330.75	13018.20
	登海 605	83745	80895	476.58	328.26	12655.35
	登海 618	80745	78240	478.54	331.92	12427.35
	郑单 958	81555	79185	473.05	324.28	12147.00
10500~12000 kg/hm ²	登海 618	79905	78225	472.86	323.23	11956.05
	中单 909	77205	75195	475.83	326.51	11682.60
	郑单 958	69195	67605	477.23	331.87	10707.15
	登海 605	69810	68490	474.68	323.85	10528.65
均值		82173.75	79647.5	478.07	330.66	12608.41
变异系数(CV)/%		9.00	8.43	0.81	1.68	10.3
相关系数		0.9848**	0.9830**	0.8050**	0.7829**	—

2.2 夏玉米不同品种 13500 kg/hm²以上产量及其构成因素分析

由表 2 可知,4 个夏玉米品种产量 13500 kg/hm²以上 4 点次平均,产量 14044.65 kg/hm²,种植密度 89745.75 株/hm²,穗数 86448.75 穗/hm²,穗粒数 482.23 粒,千粒重 336.82 g。种植密度、收获穗数变异系数较

大,穗粒数、千粒重变异系数较小,说明夏玉米产量在 13500 kg/hm²以上时,不同品种的种植密度、收获穗数有较大差异,穗粒数、千粒重的差异较小。种植密度、收获穗数、穗粒数、千粒重与籽粒产量之间相关系数分别为 0.9664、0.9988、0.9939、0.9895,均达到极显著水平,说明种植密度、收获穗数、穗粒数、千粒重对籽粒产

表 2 夏玉米不同品种 13500 kg/hm²以上产量及其构成因素

产量水平	品种名称	密度/(株/hm ²)	穗数/(穗/hm ²)	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/(kg/hm ²)
13500 kg/hm ²	中单 909	91530	88695	485.38	340.13	14642.85
	登海 605	90915	87090	483.52	337.26	14202.00
	郑单 958	88530	85170	479.98	334.73	13683.75
	登海 618	88005	84840	480.04	335.16	13650.00
均值		89745.75	86448.75	482.23	336.82	14044.65
变异系数(CV)/%		1.93	2.08	0.55	0.73	3.36
相关系数		0.9664**	0.9988**	0.9939**	0.9895**	—

量均有显著的正相关效应。

从表2可以看出,豫东平原夏玉米实现 13500 kg/hm² 以上产量,种植密度为 88005~91530 株/hm²,收获穗数为 84840~88695 穗/hm²、穗粒数 479.98~485.38 粒、千粒重 334.73~340.13 g。

2.3 夏玉米不同品种 12000~13500 kg/hm² 产量及其构成因素分析

由表3可知,4个夏玉米品种产量 12000~13500 kg/hm² 的平均,产量 12562.05 kg/hm²,种植密度 82744.65 株/hm²,收获穗数 80115.00 穗/hm²,穗粒数 476.84 粒,千粒重 328.80 g。收获穗数变异系数较大,穗粒数、千粒重变

异系数较小,说明夏玉米在产量 12000~13500 kg/hm² 的水平下,不同品种的种植密度、收获穗数有较大差异,穗粒数、千粒重的差异较小。种植密度、收获穗数、穗粒数、千粒重与籽粒产量之间相关系数分别为 0.8692、0.8499、0.7835、0.6144,达到极显著、显著水平,说明种植密度、收获穗数、穗粒数、千粒重对籽粒产量均有显著的正相关效应。

从表 3 可以看出,豫东平原夏玉米实现 12000~13500 kg/hm² 的产量,种植密度为 80745~84945 株/hm²,收获穗数为 78240~82140 穗/hm²、穗粒数 473.05~479.18 粒、千粒重 324.28~330.75 g。

表 3 夏玉米不同品种 12000~13500 kg/hm² 产量及其构成因素

产量水平	品种名称	密度/(株/hm ²)	穗数/(穗/hm ²)	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/(kg/hm ²)
12000~ 13500 kg/hm ²	中单 909	84945	82140	479.18	330.75	13018.20
	登海 605	83745	80895	476.58	328.26	12655.35
	登海 618	80745	78240	478.54	331.92	12427.35
	郑单 958	81555	79185	473.05	324.28	12147.00
均值		82744.65	80115	476.84	328.80	12562.05
变异系数(CV)/%		2.34	2.17	0.58	1.03	2.93
相关系数		0.8692**	0.8499**	0.7835**	0.6144*	—

2.4 夏玉米不同品种 10500~12000 kg/hm² 产量构成因素分析

由表4可知,夏玉米不同品种产量 10500~12000 kg/hm² 的 4 个点次平均,产量 11218.65 kg/hm²,种植密度 74029.50 株/hm²,收获穗数 72378.75 穗/hm²,穗粒数 475.15,千粒重 326.37 g。种植密度、收获穗数变异系数较大,穗粒数、千粒重变异系数较小,说明夏玉米产量 10500~12000 kg/hm² 的水平下,种植密度、收获穗数有较大差异,穗粒数、千粒重的差异较小。种植密度、收获穗数与籽粒产量之间相关系数分别为 0.9875、0.9816,达到极显著水平;穗粒数、千粒重与籽粒产量

之间相关系数为-0.5393、-0.3986,说明穗粒数、千粒重对籽粒产量存在不显著的负相关效应。

从表 4 可以看出,豫东平原夏玉米实现 10500~12000 kg/hm² 的产量,种植密度为 69195~79905 株/hm²,收获穗数为 67605~78225 穗/hm²、穗粒数 472.86~477.23 粒、千粒重 324.23~331.87 g。

2.5 不同产量水平夏玉米产量构成因素比较分析

将表 1 数据按不同产量水平分别汇总于表 5,进行不同产量水平夏玉米产量构成因对比分析。由表 5 可见,产量水平从 10500~12000 kg/hm² 提高至 12000~13500 kg/hm²,产量均值增加 1343.4 kg/hm²,增加了

表 4 夏玉米不同品种 10500~12000 kg/hm² 产量及其构成因素

产量水平	品种名称	密度/(株/hm ²)	穗数/(穗/hm ²)	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/(kg/hm ²)
10500~12000 kg/hm ²	登海 618	79905	78225	472.86	323.23	11956.05
	中单 909	77205	75195	475.83	326.51	11682.60
	郑单 958	69195	67605	477.23	331.87	10707.15
	登海 605	69810	68490	474.68	323.85	10528.65
均值		74029.50	72378.75	475.15	326.37	11218.65
变异系数(CV)/%		7.22	7.14	0.39	1.21	6.3
相关系数		0.9875**	0.9816**	-0.5393	-0.3986	—

11.97%；种植密度均值增加 8715.15 株/hm²，增加了 11.77%；收获穗数均值增加 7736.25 穗/hm²，增加了 10.69%；穗粒数均值增加 1.69 粒，增加了 0.36%；千粒重均值增加 2.1 g，增加了 0.64%。产量水平由 12000~13500 kg/hm²提高至 13500 kg/hm²以上，产量均值增加 1482.6 kg/hm²，增加了 11.80%；种植密度均值增加 7001.1 株/hm²，增加了 8.46%；收获穗数均值增加 6333.75 穗/hm²，增加了 7.91%；穗粒数均值增加 5.39 粒，增加了 1.13%；千粒重均值增加 8.02 g，增加了 2.44%。可以看出，夏玉米产量水平从 10500 kg/hm²提高至 13500 kg/hm²以上，穗数增加幅度较大，表明豫东平原夏玉米超高产栽培，应通过继续增加种植密度来进一步提高产量。

2.6 夏玉米不同品种产量构成因素与产量的通径分析

2.6.1 数据的正态性检验 应用表 1 中穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)与产量(Y)的数据进行描述性统计可知，产量及其构成因素的偏度(偏斜度)较小，均接近于 0，说明各组数据近似满足正态分布要求，可进行相关、回归和通径分析^[15-16]。

2.6.2 最优回归方程的建立及显著性测验 应用表 1 数据，进行穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)与产量(Y)的回归分析，应用回归系数建立以产量(Y)为因变量，穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)为自变量的多元回归线性方程： $Y = -1976.3939 + 0.1576 X_1 + 2.765 X_2 + 1.9912 X_3$ ($R^2 = 0.99978^{**}$)。方差分析结果，回归方程的显著性达极显著水平 ($F = 17046.0579$ ，显著性 F 检验 Significance $F = 1.47293E^{-15}$)，表明穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)与产量(Y)具有显著的回归关系^[17]。 $R^2 = 0.99978$ 表明，因变量变异中 99.978% 可由回归部

分解释，误差仅为 0.022%^[16]，也就是穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)3 个自变量可以解释 99.978% 的因变量产量(Y)的变异。

该回归方程表明：有效穗数(X_1)每增加 1 穗，产量(Y)平均将增加 0.1576 kg/667m²；穗粒数(X_2)每增加 1 粒，产量(Y)平均将增加 2.7650 kg/667m²、千粒重(X_3)每增加 1 g，产量(Y)平均将增加 1.9912 kg/667m²^[17-18]。

2.6.3 主要性状的相关系数及显著性测验 应用表 1 中穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)、产量(Y)的数据，进行相关分析，求出各性状之间的相关系数。结果表明，穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)与产量(Y)的相关系数均达极显著水平。

2.6.4 通径系数的计算

(1)直接通径系数的计算。通径系数的计算公式为 $P_{yi} = b_i(S_{xi}/S_y)$ ， b_i 为偏回归系数、 S_{xi} 为 X_i 的标准差、 S_y 为 Y 的标准差^[19]。穗数(X_1)的直接通径系数为： $P_{y1} = b_1(S_{x1}/S_y) = 0.8146$ ，穗粒数(X_2)的直接通径系数为： $P_{y2} = b_2(S_{x2}/S_y) = 0.1233$ ，千粒重(X_3)的直接通径系数为： $P_{y3} = b_3(S_{x3}/S_y) = 0.1275$ 。直接通径系数大小表明，对产量的贡献大小依次为穗数 > 千粒重 > 穗粒数，穗数对产量的贡献很大， X 千粒重和穗粒数对产量的贡献几乎相等，并且较小，但是提高穗粒数、千粒重仍可以增产^[17]。剩余通径系数很小(为 0.0126)，说明随机误差对产量的直接影响很小。

(2)间接通径系数的计算。 X_1 通过 X_2 对 Y 的间接通径系数为： $r_{12}P_{y2} = 0.6852 \times 0.1233 = 0.0845$ ， X_1 通过 X_3 对 Y 的间接通径系数为 $r_{13}P_{y3} = 0.6578 \times 0.1275 = 0.0839$ 。同理可以计算出 X_2 、 X_3 对 Y 的各个间接通径系数，列于表 6。

表 5 夏玉米不同产量水平的产量构成因素

产量水平	均值(变异系数)				
	密度/(株/hm ²)	穗数/(穗/hm ²)	穗粒数/粒	千粒重/g	产量/(kg/hm ²)
13500 kg/hm ²	89745.75(1.93%)	86448.75(2.08%)	482.23(0.55%)	336.82(0.73%)	14044.65(3.36%)
12000~13500 kg/hm ²	84744.65(2.34%)	80115.00(2.17%)	476.84(0.58%)	328.80(1.03%)	12562.05(2.93%)
10500~12000 kg/hm ²	74029.50(7.22%)	72378.75(7.14%)	475.15(0.39%)	326.37(1.21%)	11218.65(6.30%)

表 6 夏玉米产量构成因素与产量的相关系数和通径系数

产量 构成因素	与产量(Y) 的相关系数	直接通径系数	间接通径系数		
			$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$
穗数(X_1)	0.9830	0.8146	—	0.0845	0.0839
穗粒数(X_2)	0.8050	0.1233	0.5582	—	0.1236
千粒重(X_3)	0.7829	0.1275	0.5359	0.1194	—

从间接通径系数可以看出, X_1 通过 X_2 、 X_3 对 Y 的间接通径系数分别为0.0845、0.0839,说明穗数的增加导致穗粒数和千粒重的增加而影响产量的作用很小。 X_2 对 Y 的间接通径系数分别为0.5582、0.1236,说明穗粒数的变化可通过穗数、千粒重的增加而提高产量,穗粒数的变化通过穗数增加而提高产量的作用较大,穗粒数的变化通过千粒重的增加而提高产量的作用较小。 X_3 对 Y 的间接通径系数分别为0.5359、0.1194,说明千粒重的变化可通过穗数、穗粒数的增加而提高产量,千粒重的变化通过穗数的增加而提高产量的作用较大,千粒重的变化穗粒数的增加而提高产量的作用较小。

通径分析表明,豫东平原夏玉米产量水平从10500~12000 kg/hm²提高到13500 kg/hm²以上,有效穗数对产量的贡献率最高,增加有效穗数能够显著地提高玉米的产量,控制株型(选用紧凑耐密型品种)增加穗数是豫东平原夏玉米由高产实现超高产的有效途径。应在保证一定有效穗数的前提下,提高穗粒数增加千粒重。

3 讨论与结论

陈国平等^[13]研究指出,紧凑耐密玉米杂交种(‘郑单958’、‘先玉335’等)超高产栽培,合理密植的幅度为7.50万~9.00万穗/hm²;王永宏等^[20]研究报道,玉米超高产栽培,理想的收获穗数为8.25万~9.00万穗/hm²;刘伟等^[21]研究报道,夏玉米在9.00~11.25万株/hm²密度条件下籽粒产量最高。本研究结果:产量水平10528.65~11956.05 kg/hm²,种植密度为69810~79905株/hm²;产量水平12147.00~13018.20 kg/hm²,种植密度为81555~84945株/hm²;产量水平13650.00~14642.85 kg/hm²,种植密度为88005~91530株/hm²。这与陈国平等^[13]、王永宏等^[20]、刘伟等^[21]的研究结论基本一致。

本研究结果,产量水平从10500~12000 kg/hm²提高至12000~13500 kg/hm²时,种植密度均值增加8715.15株/hm²,增加了11.77%;产量水平由12000~13500 kg/hm²提高至13500 kg/hm²以上,种植密度均值增加7001.10株/hm²,增加了8.46%。表明夏玉米产量水平从10500 kg/hm²提高至13500 kg/hm²以上,主要依靠穗数的增加。这与陈国平等^[13]、刘伟等^[21]、王楷等^[22]的研究结论一致,与张前进等^[23]在高肥力水平下,随着密度的增加影响产量主要因素是穗粒重和百粒重的研究报道有所不同。

玉米产量构成因素与产量的回归、相关及通径分析,可以客观地评价各产量构成性状对产量的相对重要性^[17]。回归分析表明,产量与有效穗数、每穗粒数和

千粒重有显著的线性关系, $Y=-1976.3939+0.1576X_1+2.765X_2+1.9912X_3$ 。相关分析表明,穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)与产量(Y)均呈显著正相关,相关系数均较高,分别达到0.9830、0.8050、0.7829,与侍梅等^[17]研究结果不同。通径分析结果,穗数(X_1)、穗粒数(X_2)、千粒重(X_3)对产量(Y)的直接通径系数分别为: $P_{y1}=0.8146^{**}$, $P_{y2}=0.1233$, $P_{y3}=0.1275$,表明对产量的贡献为穗数>千粒重>穗粒数,这与曹国军等^[11]、陈国平等^[13]、王楷等^[22]的研究结果相一致,与王志刚等^[12]、宝音巴特等^[10]收获穗数>穗粒数>百粒重的研究结果略有不同。本研究表明,穗数对产量的贡献很大,千粒重和穗粒数对产量的贡献较小。

密植栽培促进玉米增产现已成为学界共识^[24],从高产田的产量及其产量构成因素来看,选用耐密品种同时采取高密度栽培技术方法是获得大面积高产突破的主要途径^[25-26]。综上所述,豫东平原夏玉米单产由10500~12000 kg/hm²上升到13500 kg/hm²以上,必须适当增加种植密度,获取足够的穗数。在保证足够穗数的基础上,主攻穗粒数,促穗大粒多,多措并举增粒重。‘中单909’、‘登海605’、‘登海618’、‘郑单958’等品种在豫东平原现行生产、生态、管理、技术条件下,实现12000~13500 kg/hm²的超高产目标,适宜的产量结构指标为:种植密度79500~84000株/hm²、穗数7000~82500穗/hm²、穗粒数470~480粒、千粒重320~330g;如果产量水平进一步提高,也即实现13500 kg/hm²以上的更高产量目标,最佳或适宜的产量结构指标有进一步提升的空间,本试验研究结果初步证实,其产量结构为:种植密度87000~91500株/hm²、穗数84000~88500穗/hm²、穗粒数480~485粒、千粒重330~340g。

采取理论测产与实收测产相结合、超高产攻关田与大田高产栽培示范相结合,进行夏玉米产量及其产量构成因素不间断监测和调查,有针对性分析探讨夏玉米超高产栽培技术路线,既接近夏玉米超高产栽培实际,又对今后指导豫东平原夏玉米生态类型区超高产栽培有重要参考和创新价值。本研究仅对紧凑耐密型主导品种夏玉米超高产栽培进行了分析探讨,其他类型品种与不同茬口的玉米超高产栽培技术路线有待进一步探讨,尤其是在现代农业提出化肥、农药“零增长”的新形势下,夏玉米超高产栽培技术与产量结构的关系更应引起足够的重视。

参考文献

- [1] 张卫建.对中国玉米绿色增产增效栽培技术的探讨:增密减氮[J].作物杂志,2015(4):1-4.

- [2] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
- [3] 贺娟,鄂文弟. 绿色高产高效创建项目发展历程回顾[J]. 中国农技推广,2017,33(5):20-23.
- [4] 王磊,万敬敬,杜雄,等. 河北省高产夏玉米的群体结构与产量形成特征[J]. 华北农学报,2016,31(4):177-183.
- [5] 赵明,付金东. 玉米高产性能量化分析及其技术途径[J]. 玉米科学,2008,16(4):8-12,16.
- [6] 田龙,韩媛芬,丁维汉. 陕西省玉米品种农艺性状与产量相关性研究[J]. 陕西农业科学,2017,63(6):1-4.
- [7] 刘强,杨明花,艾合买提江,等. 11个玉米主要性状与籽粒产量的相关性分析[J]. 天津农业科学,2016,22(7):123-125,138.
- [8] 陈灿,林秀芳,陈勤平,等. 广西不同产量水平普通玉米穗部性状与其产量的相关与通径分析[J]. 南方农业学报,2015,46(5):760-765.
- [9] 朱正梅,赵军华,楼肖成,等. 浙江省区试中42个普通玉米农艺性状与产量的通径分析[J]. 浙江农业科学,2015,56(9):1366-1367,1489.
- [10] 宝音巴特,王婧瑜,朱景嵩,等. 吉林省不同生态区域玉米产量及构成因素的差异性[J]. 分子植物育种,2017,15(9):3819-3824.
- [11] 曹国军,耿玉辉,叶青,等. 超高产春玉米产量构成特性分析[J]. 玉米科学,2012,20(5):80-83.
- [12] 王志刚,高聚林,张宝林,等. 内蒙古平原灌区高产春玉米(15 t hm⁻²以上)产量性能及增产途径[J]. 作物学报,2012,38(7):1318-1327.
- [13] 陈国平,高聚林,赵明,等. 近年中国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术[J]. 作物学报,2012,38(1):80-85.
- [14] 王红光,李东晓,李雁鸣,等. 河北省 10000 kg·hm⁻²以上冬小麦产量构成及群体生育特性[J]. 中国农业科学,2015,48(14):2718-2729.
- [15] 叶青.EXCEL平台下的玉米产量通径分析方法探讨[J]. 农业与技术,2015,35(15):13-14,26.
- [16] 杜鹃. 通径分析在Excel和SPSS中的实现[J]. 陕西气象,2012(1):15-18.
- [17] 侍梅,王学铭,牛敬娟. 宁夏引黄灌区高产玉米产量与产量构成因素的相关及通径分析[J]. 宁夏农林科技,2015,56(8):1-2,12.
- [18] 谭禾平,王桂跃,胡贤女,等. 影响玉米产量效应因子的多元回归与通径分析[J]. 浙江农业学报,2006,18(4):238-240.
- [19] 吴云勇,林木西,何丽双,等. 中国农民农业收入影响因素的综合分析—基于通径分析方法[J]. 长白学刊,2012(5):102-106.
- [20] 王永宏,赵如浪,赵健,等. 引、扬黄灌区玉米高产田($\geq 15000 \text{ kg/hm}^2$)特征分析与实现途径[J]. 作物杂志,2013(5):108-113.
- [21] 刘伟,张吉旺,吕鹏. 种植密度对高产夏玉米登海661产量及干物质积累与分配的影响[J]. 作物学报,2011,37(7):1301-1307.
- [22] 王楷,王克如,王永宏,等. 密度对玉米产量($> 15000 \text{ kg/hm}^2$)及其产量构成因子的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(16):3437-3445.
- [23] 张前进,鲁晓民,魏昕,等. 不同密度对玉米‘郑单2098’产量及构成因素的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(36):45-49.
- [24] 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.
- [25] 李少昆,王克如,杨小霞,等. 玉米高产纪录田块技术与效益分析[J]. 作物杂志,2017(6):1-6.
- [26] 卢军帅,李云祥,王兴富,等. 高密度对甘肃黄灌区玉米品种农艺性状和产量的影响[J]. 作物杂志,2018(2):97-102.