

种植密度与施氮量对春玉米产量和品质的影响

赵阳佳, 王 晔, 张震东, 南张杰, 谢 皓, 李润枝*

(农业应用新技术北京市重点实验室/植物生产国家级实验教学示范中心/北京农学院, 北京 102206)

摘 要:以先玉 335 为供试品种, 设 4.50 万株/hm²、6.75 万株/hm²、9.00 万株/hm² 3 个种植密度和 0.0 kg/hm²、112.5 kg/hm²、225.0 kg/hm² 和 337.5 kg/hm² 4 种施氮水平, 分析种植密度与施氮量对供试品种产量和品质的影响。结果表明: 供试品种在种植密度为 9.00 万株/hm² 时, 产量最高且显著高于 6.75 万株/hm²。增施氮肥可显著增加玉米产量和干物质重, 当施氮量为 337.5 kg/hm² 时, 产量最高且显著高于不施氮和 112.5 kg/hm² 施氮处理, 但是与施氮量 225.0 kg/hm² 处理相比, 产量差异不显著。种植密度和施氮量对供试品种粗脂肪含量和粗淀粉含量的影响不显著。增施氮肥可显著增加玉米的蛋白质含量, 当施氮量为 337.5 kg/hm² 时, 蛋白质含量最高, 且显著高于其他三个施氮水平。方差分析显示, 种植密度、施氮量以及两者互作对产量和蛋白质含量影响显著。

关键词:玉米; 种植密度; 施氮量; 产量; 品质

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)01-0017-04

Effects of Planting Density and Nitrogen Application Rate on Grain Yield and Quality of Spring Maize

ZHAO Yangjia, WANG Ye, ZHANG Zhendong, NAN Zhangjie, XIE Hao, LI Runzhi*

(Beijing Key Laboratory of New Technology in Agricultural Application/ National Demonstration Center for Experimental Plant Production Education/Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: The grain yield and quality of spring maize were investigated with the varieties of “Xianyu 335” under the different densities (45 000, 67 500, 90 000 plant/ha) and different nitrogen rates (N 0.0, N 112.5, N 225.0, N 337.5 kg/ha). The results showed that compared with the 67 500 plant/ha, the grain yield under 90 000 plant/ha treatment were significantly improved. The increase of nitrogen rate could effectively increase the grain yield and dry matter accumulation. The grain yield under N 337.5 kg/ha is significantly higher than the other two treatments, but it is not visibly different with N 225.0 kg/ha. The effect of planting density and nitrogen rate on fat and starch content was not significant. By adding nitrogen rate can significantly increase protein content. The protein content under N 337.5 kg/ha was higher than the other treatments. The variance analysis showed that planting density, nitrogen rate and the interaction had significant effects on the grain yield and protein content.

Key words: Spring maize; Plant density; Nitrogen rate; Grain yield; Quality

玉米是世界上最为重要的粮食作物之一, 并且随着畜牧业、加工业以及绿色能源产业的发展, 玉米也成为重要的饲料、加工和能源原料作

物^[1]。中国玉米种植面积占世界玉米面积的 18% 以上, 是全球第二大玉米生产国, 总产量占全球的 25% 以上^[2]。自 2014 年以来, 我国玉米总产量占到谷物总产量的 37% 以上, 已超过水稻成为中国第一大粮食作物, 玉米生产与我国国民经济发展密切相关, 为保障国家粮食安全和改善人民生活品质发挥了重要的作用^[3-4]。实现玉米高产、高效与优质协同是当前我国玉米生产的重要目标, 即在提高玉米籽粒产量与资源利用效率的同时, 还要保障籽粒具有较高的品质。优化栽培管理措施, 有利于实现玉米产量、品质与资源利用效率三者的均衡发展^[1]。

收稿日期: 2018-12-10

基金项目: 北京市教委科研计划一般项目 (KM201710020004); 大北农青年教师科研基金 (17ZK003); 北京高等学校高水平人才交叉培养“实培计划”毕业设计(科研类)项目 (PXM-2017-014207-000070)

作者简介: 赵阳佳 (1995-), 女, 在读硕士, 主要从事种子生理生态研究。

通讯作者: 李润枝, 女, 博士, 副教授, E-mail: lirunzhi7639@163.com

增加种植密度与合理施氮是提高玉米籽粒产量的有效栽培途径^[5-8]。前人研究表明,在一定种植密度范围内,玉米籽粒产量随着种植密度的增加而增加,但过高的种植密度同样也会导致产量降低^[8-9]。施氮量与玉米产量和品质形成关系紧密,氮素是影响作物产量的最重要养分限制因子^[10],合理的氮肥施用有利于提高玉米产量,改善籽粒品质,但过度施用氮肥不利于玉米产量形成与品质改善,而且会造成资源浪费,导致土壤酸化和富余的活性氮向深层土壤渗漏,增加环境污染风险^[11-12]。种植密度对玉米籽粒品质存在影响,随着种植密度的增加,玉米籽粒品质(如蛋白质含量、粗脂肪含量等)显著降低^[13-14]。在优化种植密度与施氮量的同时,维持玉米籽粒较高的品质是当前研究的热点问题之一。

本研究通过在大田生产条件下设置3个种植密度和4个施氮水平,研究种植密度与施氮量对玉米产量以及粗淀粉、粗蛋白质、粗脂肪含量等相关品质指标的影响,以期对玉米高产、高效与优质相协调的栽培管理技术优化提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料与试验设计

供试玉米品种为先玉335。试验于2016年在中国农业科学院作物科学研究所公主岭试验站进行。试验站所在区域属温带大陆性季风气候,年平均气温5.6℃,无霜期120~140 d,有效积温2600~3000℃·d,年降水量562 mm,玉米生长季(4~9月)降水量占全年总量的80%以上。土壤类型为中层黑土,耕层(0~20 cm)土壤养分状况如下:有机质28.1 g/kg,全氮1.61 g/kg,碱解氮143.3 mg/kg,速效磷66.4 mg/kg,速效钾150.8 mg/kg。

本试验采用裂区设计,主区为种植密度,裂区为施氮水平。主区设置3个种植密度,分别为4.50万株/hm²(D₁)、6.75万株/hm²(D₂)和9.00万株/hm²(D₃)。裂区包含4个施氮(N)水平,分别为0.0 kg/hm²(N₀)、112.5 kg/hm²(N₁)、225.0 kg/hm²(N₂)和337.5 kg/hm²(N₃),设置3次重复,随机排列。小区面积10 m×6.6 m=66.0 m²。于秋季收获后进行农田灭茬并旋耕整地,春季播种前耕作起垄,垄高20 cm,于垄上播种玉米,从播种后至拔节期进行2次中耕培垄。磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)施用量均为82.5 kg/hm²,其中,33%氮肥和全部磷、钾肥作为基肥施入,其余氮肥均在玉米拔节期结合中耕培垄施入农田,除施肥量外,其他田间管理措施均相同,全生育

期无灌溉。

1.2 取样方法

田间取样:成熟期每小区选取18 m²进行实收测产,并按照籽粒含水率14%折算产量。同时,收获的籽粒晾干后,从中称取1 kg进行粉碎,过0.250 mm筛孔的筛子,备用作营养品质分析。

1.3 测定项目与方法

每个小区分别选取5株具有代表性的植株,将地上部分于烘箱中105℃杀青30 min,85℃烘干至恒重,测定干物质质量,求出单株干物质重。

干物质重(kg/hm²)=株数/hm²×单株干物质重。

收获系数=产量(kg/hm²)/干物质重(kg/hm²)

粗淀粉含量采用苯酚-硫酸法测定^[15],粗蛋白质含量采用凯氏半微量定氮法测定,粗脂肪含量采用索氏抽提法测定^[13]。

1.4 数据分析

采用Microsoft Office 2007对数据进行初步整理,采用SPSS 23.0对数据进行统计分析。多重比较采用Duncan's新复极差法。

2 结果与分析

2.1 种植密度和施氮量对玉米产量的影响

表1可见,在本试验条件下,供试品种籽粒产量随种植密度增加呈先降低再升高的趋势,D₂处理的籽粒产量比D₁降低了5.5%,但差异不显著(P>0.05)。当种植密度增加到D₃时,籽粒产量又明显提高,比D₂处理增加了11.7%,差异达显著水平(P<0.05)。在本试验的施氮范围内,增施氮肥能显著提高供试玉米品种的籽粒产量,N₁、N₂、N₃处理的籽粒产量分别为10 056.9 kg/hm²、11 919.3 kg/hm²和13 159.8 kg/hm²,与不施氮肥N₀相比,分别增产170.6%、220.7%和254.1%。差异达显著水平(P<0.05)。N₂和N₃处理籽粒产量差异不显著(P>0.05),这表明当施氮量超过225.0 kg/hm²时,继续施加氮肥对产量的影响不明显。方差分析结果表明,种植密度以及种植密度与施氮量的互作对籽粒产量的影响达显著水平(P<0.05),施氮量对籽粒产量的影响达极显著水平(P<0.01)。

在本试验条件下,干物质重随着种植密度的增加而增加,但差异不显著。方差分析显示,种植密度对干物质重的影响未达到显著水平(P>0.05)。干物质重随着施氮量的增加而增加,N₀、N₁和N₃处理间差异达显著水平。方差分析显示,施氮量对干物质重的影响达到极显著水平(P<0.01),说明供试品种的干物质重对施氮量的响应

极敏感。种植密度和施氮量的互作对干物质重的影响未达到显著水平。N₀、N₁、N₂和N₃处理间收获系数的差异不显著,而D₁和D₃处理间差异达到显

著水平($P<0.05$)。方差分析显示,种植密度、施氮量以及两者互作对收获系数的影响都未达到显著水平。

表1 种植密度和施氮量对玉米产量的影响

种植密度	产量(kg/hm ²)					干物质重(kg/hm ²)					收获系数				
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	平均	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	平均	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	平均
D ₁	4131.5	9801.0	12074.4	12828.9	9708.9ab	6891.1	19198.7	22148.1	24941.3	18294.8a	0.60	0.53	0.55	0.52	0.54a
D ₂	3648.7	9324.6	10837.3	12898.0	9177.2b	9007.0	16508.2	24692.6	25828.0	19009.0a	0.41	0.57	0.47	0.50	0.48ab
D ₃	3368.4	11044.9	12846.1	13752.3	10252.9a	7794.2	23987.6	31342.4	36768.9	24973.3a	0.44	0.47	0.48	0.37	0.42b
平均	3716.2c	10056.9b	11919.3ab	13159.8a		7897.5c	19898.2b	26061.1ab	29179.4a		0.48a	0.51a	0.46a	0.46a	
方差分析															
D	*					ns					ns				
N	**					**					ns				
D×N	*					ns					ns				

注:同列数据后不同小写字母表示差异达0.05显著水平;*、**,ns分别代表达到显著水平、极显著水平、无显著性。下同

2.2 种植密度和施氮量对品质指标的影响

从表2可见,在本试验条件下,供试品种粗蛋白含量随着种植密度的增加而降低,D₂处理比D₁降低了5.3%,差异达到显著水平($P<0.05$)。D₃处理比D₂降低了4.3%,但差异不显著($P>0.05$)。施氮量的增加能显著提高供试品种的粗蛋白含量,

与N₀相比,N₁、N₂、N₃处理的粗蛋白含量分别增加了12.4%、35.2%和50.4%,4个处理的差异均达到显著水平。方差分析显示,种植密度、施氮量以及两者互作对供试品种粗蛋白含量的影响均达到显著或极显著水平。

表2 种植密度和施氮量对玉米籽粒品质的影响

种植密度	粗蛋白含量(%)					粗脂肪含量(%)					粗淀粉含量(%)				
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	平均	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	平均	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	平均
D ₁	5.69	6.72	8.39	9.53	7.58a	2.9	2.8	3.1	2.8	2.9b	67.7	67.4	67.3	64.7	66.8b
D ₂	5.92	6.53	7.97	8.29	7.18b	3.1	2.9	2.9	3.0	3.0a	66.6	66.7	66.7	66.8	66.9b
D ₃	5.75	6.28	7.13	8.33	6.87b	3.0	2.9	2.8	2.9	2.9b	71.8	69.9	67.9	68.1	69.4a
平均	5.79d	6.51c	7.83b	8.71a		3.0a	2.9a	2.9a	2.9a		68.7a	68.0a	67.3a	66.5a	
方差分析															
D	*					ns					*				
N	**					ns					ns				
D×N	**					ns					ns				

在N₀、N₁、N₂和N₃处理间,粗脂肪含量和粗淀粉含量的差异均未达到显著水平($P>0.05$),说明供试品种的这两项品质指标对施氮量的响应不敏感。随着种植密度的增加,粗脂肪含量先升高后降低,D₂处理的粗脂肪含量最高,且与D₁和D₃的差异达到显著水平。粗淀粉含量随着种植密度的增加而增加,D₃处理比D₁和D₂分别分别增加了3.9%和3.7%,差异均达到显著水平($P<0.05$)。方差分析显示,除种植密度对粗淀粉含量的影响达到显著水平外,种植密度、施氮量以及两者互作对这两项品质指标的影响均未达到显著水平。

2.3 产量指标和品质指标的相关性分析

由表3可知,供试品种的籽粒产量与干物质

重呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数达0.967。籽粒产量与蛋白质含量呈显著正相关($P<0.05$),相关系数达0.865。干物质重与蛋白质含量呈显著正相关,相关系数达0.819。

3 讨论与结论

栽培措施对玉米的生物产量和品质有着明显的影响,研究表明种植密度和施氮水平均对玉米的产量和品质有显著影响。兰宏亮等的研究结果表明农大108随着种植密度的增加,鲜重产量和干物质产量呈先增加后下降的趋势,在种植密度为13.5万株/hm²时取得最大值^[6]。刘霞等认为如果种植密度过低或过高,籽粒的产量减少趋势是

表3 供试品种产量指标和品质指标的相关性

性状	产量	干物质重	收获系数	蛋白质含量	脂肪含量	淀粉含量
产量	1					
干物质重	0.967**	1				
收获系数	-0.58	-0.296	1			
蛋白质含量	0.865*	0.819*	-0.031	1		
脂肪含量	-0.748	-0.715	-0.12	-0.522	1	
淀粉含量	-0.494	-0.322	-0.452	-0.742	0.09	1

注:**在0.01水平(双尾)相关性显著;*在0.05水平(双尾)相关性显著

明显的,而蛋白质含量变化趋势却相反。种植密度很低时,籽粒的蛋白质含量相对较高,而产量不高;随着种植密度增加,籽粒产量逐渐增长,蛋白质含量则逐渐降低^[17]。种植密度对玉米的产量和品质的影响,不同品种在不同地区的变化是不一致的。在具体的生产实践中,应根据不同品种的特性以及种植区域的生态特点制定适宜的种植密度。张庆娜等的研究结果认为,土壤肥力较低的地块,应适当增加种植密度;在土壤肥力较高的地块,应适当降低种植密度^[18]。

在本试验条件下,干物质重随着种植密度的增加而增加,但差异不显著。籽粒产量随种植密度的增加呈先降低后增加的趋势,种植密度为9.00万株/hm²时产量最高,且显著高于种植密度为6.75万株/hm²的产量。在本试验的施氮范围内,籽粒产量和干物质重随着施氮量的增加而增加,施氮量为112.5 kg/hm²、225.0 kg/hm²和337.5 kg/hm²与不施氮肥相比差异均显著。当施氮量超过225.0 kg/hm²时,继续施加氮肥对产量的影响不明显。因此,种植密度为9.00万株/hm²和施氮量为225.0 kg/hm²的组合效果最优。方差分析结果表明,种植密度、施氮量以及两者互作对籽粒产量的影响均达显著水平。

玉米籽粒营养品质受栽培措施影响,其中,种植密度是关键因素之一。王晓梅等的研究结果表明,密度增加与玉米品种的蛋白质含量呈极显著负相关,随着密度加大,蛋白质含量是减少的^[19]。本研究结果也表明,粗蛋白含量随着种植密度的增加而降低,种植密度为4.50万株/hm²时粗蛋白含量最高且显著高于其他两个种植密度。随着施氮量的增加而增加,且不同处理间差异显著。本研究中,种植密度为4.50万株/hm²和施氮量为337.5 kg/hm²时粗蛋白含量最高。玉米籽粒淀粉含量对种植密度的反应不敏感,对粗脂肪含量的影响因生态因子的作用而不同^[20]。在本试验中,除种植密度对粗淀粉含量的影响达到显著水平

外,种植密度、施氮量以及两者互作对这两项品质指标的影响均未达到显著水平。

玉米是单秆作物,要提高产量,增加密度是玉米增产的关键。美国近几十年来单产的增加主要是依靠加大种植密度而实现的。因此,通过调整种植密度,充分利用光热、土地等自然资源,提高我国玉米产量的空间还很大。种植密度改变不仅影响玉米产量,对籽粒品质也有不同程度的影响。同时,种植耐密型品种也需要相应地增施肥料,如果没有肥、水的供给保障,很难发挥耐密型品种的增产潜力。因此,应该进一步加强对普通粒用玉米品质形成规律和影响因素的研究,以往大量研究只关注高产目标,培育高产品种,探索高产规律和配套技术,而未对品质给予更多关注。本试验通过研究供试品种的种植密度和施氮量对产量和品质的影响,为生产上进一步种植推广提供参考。

本文研究结果表明:当种植密度在9.00万株/hm²和施氮量为225.0 kg/hm²的条件下,玉米可获得较高的籽粒产量,且与施氮量为337.5 kg/hm²处理相比,玉米籽粒粗脂肪含量和粗淀粉含量无显著差异。本研究可为玉米高产、高效与优质相协调的栽培管理技术优化提供一定的依据。

参考文献:

- [1] 赵久然,王荣焕.中国玉米生产发展历程、存在问题及对策[J].中国农业科技导报,2013,15(3):1-6.
- [2] 陈涛,宋振伟,张明,等.遮阴和种植密度对东北春玉米穗部发育和植株生产力的影响[J].应用生态学报,2016,27(10):3237-3246.
- [3] 慈艳华,边丽梅,霍剑锋,等.不同种植模式对玉米生长发育、产量及经济效益的影响[J].吉林农业科学,2015,40(2):7-10,15.
- [4] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016:401.
- [5] Ciampitti I A, Vyn T J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from

(下转第67页)

由于非正规金融机构在满足新型农业经营主体金融需求方面有一定的不可替代的作用,农村金融体制改革要赋予非正规金融机构一定的重要地位,推进其合法化进程,对其发展定位要给予必要的政策支持。另外,随着未来农村熟人社会的变迁,正规金融机构降低了农户贷款的门槛,在扩大信贷供给的服务时,要审视非正规金融机构存在的可行性及必要性。

4.2.3 加快农户征信体系建设

构建农村信用体系建设,对于每一个农户进行信用征集及备案,便于正规金融机构进行贷款农户的信用识别,减少信息不对称引致的道德风险及逆向选择问题。通过宣传等手段扩大农户建立信用档案的范围及比例,并且需要定期更新农户诚信档案,做到信息真实准确,降低农户与正规金融机构之间的交易成本。

参考文献:

- [1] 吴雨,宋全云,尹志超.农户正规信贷获得和信贷渠道偏好分析—基于金融知识水平和受教育水平视角的解释[J].中国农村经济,2016(5):43-55.
- [2] 谭银清,陈益芳.金融可得性与农户适度规模经营—基于CHARLS数据的实证分析[J].金融发展研究,2017(2):78-82.
- [3] 吴比,尹燕飞,张龙耀.东北农村金融需求现状分析—基于东北三省的农户调查数据[J].农村金融研究,2017(5):58-62.
- [4] 谭燕芝,张子豪,睦张媛.非正规金融能否促进农户脱贫—基于CFPS 2012年微观数据的实证分析[J].农业技术经济,2017(2):41-50.
- [5] 易小兰.农户正规借贷需求及其正规贷款可获得性的影响因素分析[J].中国农村经济,2012(2):58-65,87.
- [6] 刘祚祥,杨密.精准扶贫、信息共享与贫困农户金融服务创新—以张家界金融产业扶贫为例[J].长沙理工大学学报(社会科学版),2017,32(1):92-102.
- [7] 李明贤,唐文婷.农村金融成长路径、农户金融参与和融资约束缓解[J].管理世界,2017(4):178-179.
- [8] 易小兰,蔡荣.放宽市场准入下农户借贷渠道选择及信贷可得性分析[J].财贸研究,2017,28(10):26-37.
- [9] 祝国平,郭连强.农村金融改革的关键问题、深层原因与战略重点[J].江汉论坛,2018(6):46-54.
- [10] 余晓洋,田帅,刘帅.杭州市农民工工资性收入变动及其影响因素分析[J].东北农业科学,2017,42(3):50-54.
- [11] 王昌森,董文静.乡村振兴战略下农业可持续发展政策的完善路径研究—以山东省为例[J].东北农业科学,2018,43(4):48-52.
- [12] 王芳,罗剑朝,Yvon Martel.农户金融需求影响因素及其差异性—基于Probit模型和陕西286户农户调查数据的分析[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2012,82(6):61-69.
- (责任编辑:刘洪霞)
-
- (上接第20页)
- vegetative to reproductive stages[J]. Field Crops Research, 2011, 121(1): 2-18.
- [6] 谢振江,李明顺,徐家舜,等.遗传改良对中国华北不同年代玉米单交种产量的贡献[J].中国农业科学,2009,42(3):781-789.
- [7] 宋振伟,齐华,张振平,等.春玉米中单909农艺性状和产量对密植的响应及其在东北不同区域的差异[J].作物学报,2012,38(12):2267-2277.
- [8] 卢军帅,李云详,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.
- [9] 张明.种植密度对东北春玉米穗分化和籽粒发育的影响[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [10] 郭金瑞,任军,闫孝贡,等.种植密度与施氮水平对春玉米产量形成影响研究[J].吉林农业科学,2015,40(5):6-9,20.
- [11] 杨世民,廖尔华,袁继超.玉米密度与产量及产量构成因素关系的研究[J].四川农业大学学报,2000,18(4):23-28.
- [12] 邵书静.品种、氮肥和种植密度对玉米产量与品质的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [13] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [14] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(9): 3041-3046.
- [15] 崔文芳,高聚林,于晓芳,等.高产氮高效玉米品种的筛选及其指标研究[J].作物杂志,2016(6):38-43.
- [16] 兰宏亮,王海波,付铁梅,等.种植密度与化学调控对夏播青贮玉米产量的影响[J].作物杂志,2014(2):80-83.
- [17] 刘霞,李宗新,王庆成,等.种植密度对不同粒型玉米品种籽粒灌浆进程、产量及品质的影响[J].玉米科学,2007,15(6):75-78.
- [18] 张庆娜,傅迎军,白艳凤,等.不同种植密度和肥量对玉米早熟品种单13产量性状的影响[J].作物杂志,2013(6):123-126.
- [19] 王晓梅,崔坤,宋利润,等.不同密度与玉米生长发育及品质相关性的研究[J].吉林农业科学,2006,31(3):3-6.
- [20] 陈亮,张宝石,王洪山,等.生态环境与种植密度对玉米产量和品质的影响[J].玉米科学,2007,15(2):88-93.
- (责任编辑:刘洪霞)