

密植条件下不同玉米品种产量及子粒 营养品质相关性状研究

王广福, 陈广周, 司雷勇, 金 岩, 郝引川, 张仁和,
张兴华, 薛吉全, 路海东

(西北农林科技大学农学院/农业部西北旱区玉米生物学与遗传育种重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 试验以陕单 609、榆玉 3 号、先玉 335、郑单 958、秋润 100、陕单 636 为供试品种, 在 67 500 株/hm² 和 82 500 株/hm² 两种种植密度下, 研究增密对不同玉米品种子粒产量和营养品质的影响。结果表明, 随着密度的增加, 子粒产量、收获穗数、群体干重和 LAI 显著增加, 穗粒数、百粒重和子粒蛋白质含量呈下降趋势, 淀粉含量和粗脂肪含量不同品种间呈现不规则变化。密植条件下, 品种间子粒产量差异更为明显, 陕单 609、先玉 335 和榆玉 3 号的产量显著高于其他品种, 分别较郑单 958 增产 1.98%、11.26% 和 2.37%。陕单 636 增密后影响产量的主要因素是粒重, 先玉 335 和郑单 958 增密后影响产量的主要因素是穗粒数, 陕单 609、榆玉 3 号和秋润 100 增密后影响产量的因素是穗粒数和粒重。因此, 选择优良品种, 适当增加玉米种植密度, 加强田间管理, 保证穗粒数和粒重稳定, 是实现玉米密植高产优质的的重要途径。

关键词: 玉米; 种植密度; 产量; 营养品质

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effects of Grain Yield and Nutritional Quality of Different Maize Varieties under High Densities

WANG Guang-fu, CHEN Guang-zhou, SI Lei-yong, JIN Yan, HAO Yin-Chuan, ZHANG Ren-he,
ZHANG Xing-hua, XUE Ji-quan, LU Hai-dong

(College of Agronomy, Northwest A & F University / Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of
Maize in Arid Area of Northwest Region, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

Abstract: In order to investigate the influence of planting density on grain yield and quality traits of different maize varieties, six varieties (Shandan609, Yuyu 3, Xianyu335, Zhengdan958, Qiurun100 and Shandan636) were selected and planted in two densities (67 500 and 82 500 plants/ha). The results indicated that grain yield increase significantly with the addition of plant density, so did the number of panicles, the LAI, and the above-ground dry material accumulation, while the 100-kernels weight and protein content of the grain showed a downward trend, the starch content and crude fat content showed irregular changes among different varieties. The difference in grain yield between varieties was more pronounced under high density, the yields of Shandan609, Xianyu335, and Yuyu 3 were significantly higher than other varieties, and they increased by 1.98%, 11.26%, and 2.37%, respectively, compared with Zhengdan 958. With the addition of the plant density, the main factor affecting yield of Shandan636 was grain weight, the main factor affecting the yield of Xianyu335 and Zhengdan958 was the number of grains per ear, while the factors that affect the yield of Shandan609, Yuyu 3 and Qiurun100 were grain number and grain weight. Therefore, selecting excellent varieties, increasing planting density appropriately, and strengthening field management are important ways to achieve high yield and quality of maize.

Key words: Maize; Planting density; Yield; Nutritional quality

录用日期: 2018-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(31771724)、陕西省科技攻关项目(2018NY-031)

作者简介: 王广福(1992-), 山东德州人, 在读硕士, 主要从事玉米高产栽培研究。Tel: 18700806916 E-mail: 1295718036@qq.com

路海东为本文通讯作者。E-mail: lhd2042@163.com

玉米是主要的粮食作物,也是优良的饲料和工业原料^[1]。进入20世纪80年代以来,随着人们生活水平的提高,食物结构发生了巨大变化,玉米在国民经济中的地位日益提高。玉米已发展成为世界重要的粮食、经济、饲料兼用的作物^[2]。随着畜牧业的快速发展,玉米作为饲料粮的需求将进一步扩大。国内外研究认为,未来我国的粮食问题,将不再是直接口粮问题,而是饲料粮问题^[3~4]。因此,提高玉米产量和营养品质已成为我国玉米研究工作的发展方向。

玉米子粒产量和品质决定于基因型和环境因素^[5]。众多研究表明,密度对玉米子粒产量和品质具有显著影响^[6~8]。王鹏文等研究发现,玉米子粒中蛋白质、淀粉及粗脂肪的低含量与高产密度相对应,但这些物质的高含量却不与较低产量的密度相对应。王明泉^[9]认为,不同玉米品种对种植密度的反应不同,只有在适宜的种植密度下,玉米的生理指标才能达到最适值,进而实现玉米群体产量的最大值。邢锦丰等^[10]研究发现,种植密度影响到玉米群体内小气候进而影响玉米的生长发育,只有适宜的密度才能实现玉米优质高产。前人研究主要集中于密度对玉米产量的影响,关于密度对玉米营养品质的研究较少,尤其是关于不同基因型玉米品种产量和营养品质对密度响应的研究鲜有报道。本文以关中地区玉米生产环境为背景,研究密度对不同玉米品种的产量和品质形成差异,明确玉米产量与营养协同提高机理,为关中地区的玉米高产优质生产实践提供理论和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验内容

试验于2017年在陕西杨凌西北农林科技大学新品种示范园进行。采用密度、品种二因素裂区实验设计,设置2个密度,即当地普通种植密度6.75万株/hm²和高密8.25万株/hm²;供试玉米品种为陕单609、榆玉3号、先玉335、郑单958、秋润100和陕单636。3次重复,每个小区种植4行,行长5 m,重复间留走道1.0 m,试验田四周设保护行4~6行。种植与管理方式同当地普通大田。玉米于2017年4月19日播种,8月27日收获。试验地施肥水平为施纯N 270 kg/hm²,纯P₂O₅ 180 kg/hm²,40%氮肥和全部磷肥作为底肥在播种前结合整地一次性施入,60%氮肥作为追肥在玉米拔节期施入。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 玉米干物质产量与营养品质测定

在各玉米品种乳熟末蜡熟初期(此时期可获得

最高的饲用营养价值)^[11],每个小区收获3株具有代表性的植株,将样株按子粒和秸秆分开称量鲜物质重,称重后105℃杀青,然后80℃烘干至恒重,称量干重。玉米子粒粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)和淀粉(ST)含量采用DA7200二极管阵列近红外光谱分析仪(Perten Inc., Sweden)进行无损测定,结果以干基(%)表示。将一定量样品倒入直径75 mm的分析杯内,表面刮平,进行扫描。为消除样品的不均匀性,减小误差,每个样品重复3次,每次重复扫描2次,结果取平均值。

1.2.2 产量构成因素和产量

收获时,每个小区收获中间两行,称取所有果穗总鲜重,并计数收获总果穗数,依据平均穗重,选取有代表性的10个果穗进行考种和测产,测定穗粒数、百粒重、并折算成标准单位面积产量。

1.2.3 叶面积指数

叶面积指数测定:测量每片叶片的叶长(L),以叶片最宽处的宽度作为叶宽(W),计算单株叶面积(LA)和叶面积指数(LAI):

$$\text{单株叶面积(LA)} = \sum L \times W \times 0.75;$$

叶面积指数(LAI)=单株叶面积×单位土地面积株数/单位土地面积。

1.3 数据处理与分析

采用Excel 2016软件进行数据平均值、标准差分析,采用统计学分析工具DPS 6.55和SPSS 22.0软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 种植密度对子粒产量及产量构成因素的影响

各品种不同种植密度下产量及产量构成因素结果分析表明(表1),不同密度和品种间产量、收获穗数、穗粒数、百粒重差异显著。不同密度间产量与产量构成因素多重比较分析发现(表2),各玉米品种高密度条件下的产量均显著高于低密度处理,穗粒数和百粒重则是低密度处理显著高于高密度处理。不同品种间比较,低密度下各品种间的产量和穗粒数、百粒重差异不明显;高密度下各品种间差异显著,先玉335、陕单609和秋润100显著高于郑单958和陕单636。可见,增加密度更有利于高产品种的筛选。从不同品种的产量构成来看,密度增加,各玉米品种的田间收获穗数增加,但穗粒数和百粒重下降。但从差异性分析来看,陕单636在不同密度下穗粒数没有显著差异;郑单958和先玉335在不同密度下百粒重没有显著差异,说明品种对密度的适应性取决于其遗传特性。陕单636密度增加后限制产

量的主要因素是粒重下降,密植下高产的主要措施是促进玉米花后干物质生产,增加粒重;先玉 335 和郑单 958 密度增加后限制产量的主要因素是穗粒数下降,保证玉米吐丝授粉,提高受精率和成粒率是密植下取得高产的关键。

表 1 不同处理产量及其构成因素的 F 测验结果
Table 1 F-test results of yield and its constituent factors under different planting densities

变异类型 Variant type	产 量 Yield		收获穗数 Number of harvested spikes		穗粒数 Ear number		百粒重 100-grain weight	
	F 值 F value	P 值 P value	F 值 F value	P 值 P value	F 值 F value	P 值 P value	F 值 F value	P 值 P value
品 种	20.930	0.002 3	1.555 6	0.319 8	19.312	0.000 1	35.931	0.000 6
种植密度	289.180	0.000 1	77.142 0	0.000 3	48.749	0.000 1	14.655	0.012 3

表 2 不同玉米品种在不同密度下的产量
Table 2 The yield of different maize varieties under different planting densities

密度(株/hm ²) Density	品 种 Variety	产量(kg/hm ²) Yield	收获穗数(株/hm ²) Ear number	穗粒数(个) Kernels per ear	百粒重(g) 100-kernel weight
67 500	陕单 609	10 469 e	65 768 cd	695.4 a	31.65 b
	榆玉 3 号	10 924 e	67 433 c	704.9 a	26.65 d
	先玉 335	11 724 d	62 438 d	642.4 b	31.65 b
	郑单 958	10 779 e	62 438 d	588.9 c	37.50 a
	秋润 100	10 958 e	62438 d	666.5 ab	31.05 b
	陕单 636	10 420 e	61 605 d	635.9 b	30.45 c
82 500	陕单 609	12 322 bc	74 093 b	602.6 c	29.45 c
	榆玉 3 号	12 369 bc	83 250 a	651.6 b	25.15 e
	先玉 335	13 444 a	79 088 a	608.7 c	30.70 bc
	郑单 958	12 083 cd	81 585 a	515.2 d	36.25 a
	秋润 100	12 641 b	80 753 a	582.2 c	29.75 c
	陕单 636	11 765 d	73 260 b	645.1 b	26.20 d

注:数据后不同小写字母表示同列差异达 $P<0.05$ 水平。下表同。
Note: Values followed by different small letters indicated significant difference at $P<0.05$ among same column. The same below.

2.2 玉米单株与群体干物质产量的影响

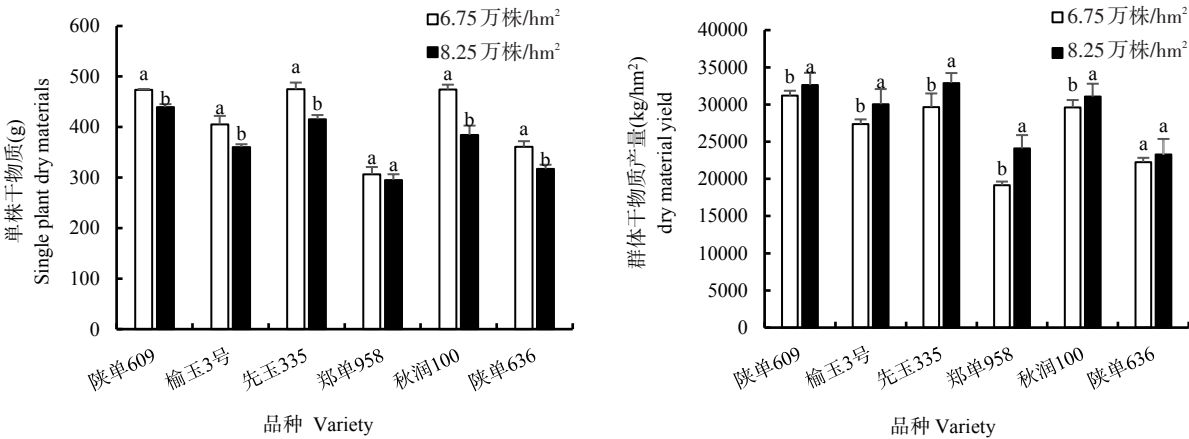


图 1 不同处理对玉米单株与群体干物质产量的影响
Fig.1 Effect of single and population dry matter yield under different treatments

随着种植密度的增加,各玉米品种单株干物质都出现不同程度的降低(图1),但群体干物质产量都随着种植密度的增加而增加,高低密度间玉米群体地上部干物质积累相差较大。由方差分析结果可知,郑单958不同密度处理间单株干物质产量差异并未达到显著水平,而陕单609、榆玉3号、先玉335、秋润100和陕单636不同密度间单株干物质产量均达到显著差异水平;陕单636群体干物质产量密度处理间未达到显著水平,其余5个品种密度处理间群体干物质产量均达到显著差异水平。说明密度对玉米单株和群体干物质生产具有明显的调节作用,密度增大,个体间竞争加剧,个体生长受到抑制,但群体数量增加,总光合产物增加。由于品种遗传特性的不同,其对密度反应的程度不同,耐密性好的品

种则表现出较强的密度适应性。

2.3 种植密度对玉米吐丝后叶面积指数影响

玉米光合产物合成的主要器官是叶片,玉米的叶面积大小受到遗传和环境因素的双重影响,比较叶面积大小可以对品种的种植密度和田间管理提供指导。在吐丝期、吐丝后25 d和成熟期分别测定了各品种在两种密度下的叶面积(表3)。结果表明,随着密度的增加,单株叶面积表现出下降趋势,而群体叶面积(以叶面积指数LAI表示)则表现出上升趋势。不同品种的单株叶面积与LAI从吐丝期开始逐渐减小。吐丝期不同品种间比较,先玉335低密度与高密度下LAI均显著高于相同密度下其他5个品种;成熟期先玉335与陕单636均显著低于陕单609、榆玉3号和郑单958。

表3 不同玉米品种在不同密度下叶面积和叶面积指数(LAI)
Table 3 Leaves area and LAI of different maize varieties under different planting densities

密度(株/hm ²) Density	品 种 Variety	单株叶面积(m ²) Leaf area per plant			叶面积指数 LAI		
		吐丝期	吐丝后25 d	成熟期	吐丝期	吐丝后25 d	成熟期
		Silking stage	25 d after silking	Maturity	Silking stage	25 d after silking	Maturity
67 500	陕单609	0.70 b	0.59 bc	0.41 c	5.06 e	3.88 cd	3.28 de
	榆玉3号	0.62 d	0.56 d	0.39 d	4.63 f	3.75 cde	3.14 de
	先玉335	0.76 a	0.65 a	0.40 cd	5.25 d	4.03 c	3.00 f
	郑单958	0.78 a	0.63 a	0.49 a	5.13 e	3.91 cd	3.69 b
	秋润100	0.71 b	0.57 cd	0.44 b	4.87 ef	3.58 ef	3.34 d
	陕单636	0.70 bc	0.55 d	0.39 cd	4.72 f	3.38 f	2.93 f
82 500	陕单609	0.67 c	0.55 d	0.39 cd	5.47 cd	4.04 c	3.52 c
	榆玉3号	0.59 e	0.49 e	0.35 e	5.37 cd	4.12 c	3.53 c
	先玉335	0.71 b	0.62 b	0.35 e	6.16 a	4.90 a	3.33 d
	郑单958	0.63 d	0.56 cd	0.38 d	5.87 b	4.57 b	3.96 a
	秋润100	0.63 d	0.56 d	0.38 d	5.55 c	4.51 b	3.69 b
	陕单636	0.67 c	0.47 e	0.34 e	5.43 cd	3.61 e	3.03 ef

2.4 种植密度对玉米子粒营养品质的影响

2.4.1 种植密度对玉米子粒蛋白质含量的影响

由方差分析结果可知,陕单609、榆玉3号、先玉335密度处理间蛋白百分含量并未达到显著水平(图2),说明该密度效应范围不会影响到陕单609、榆玉3号、先玉335子粒间的粗蛋白百分含量,可以说这3个品种子粒粗蛋白百分含量对密度的反应不敏感。在本试验密度处理范围内,秋润100、陕单636和郑单958子粒粗蛋白百分含量均随密度增大而显著降低,说明密度效应对郑单958、秋润100和陕单636子粒间粗蛋白百分含量的影响较大,这3个品种在密度合理的情况下,子粒粗蛋白百分含量可

达到一个较高水平。

2.4.2 种植密度对玉米子粒淀粉含量的影响

由方差分析结果可知,郑单958、先玉335、秋润100和陕单636密度处理间淀粉百分含量并未达到显著水平,而陕单609与榆玉3号密度间差异显著。随着种植密度增加,陕单609、榆玉3号淀粉含量显著减少,先玉335、秋润100淀粉含量略有降低,而郑单958与陕单636则稍有增加,说明随种植密度增加,6个品种的子粒淀粉含量的增减变化趋势较为复杂,无规律性(图3)。低密度条件下陕单609、榆玉3号、先玉335子粒淀粉含量均较高,高密度下陕单636显著高于其余5个玉米品种。可见,密度对

淀粉含量的影响因品种而异,陕单609、榆玉3号和先玉335不同密度下无显著差异;相对于其他品种,陕单636密植下的淀粉含量相对较高。

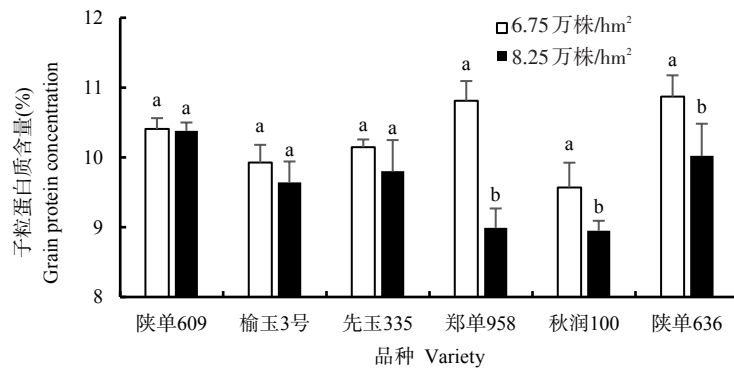


图2 不同品种、不同密度对玉米子粒蛋白质含量的影响

Fig.2 Effect of grain protein concentration of different varieties under different planting densities

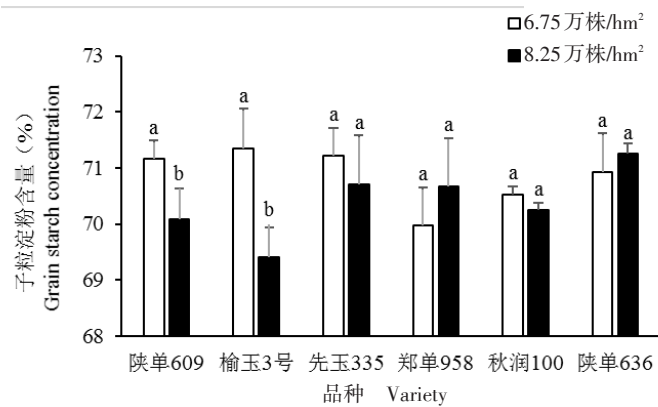


图3 不同品种、不同密度对玉米子粒淀粉含量的影响

Fig.3 Effect of grain starch concentration of different varieties under different planting densities

2.4.3 种植密度对玉米子粒粗脂肪含量的影响

由图4可知,种植密度对玉米子粒粗脂肪含量的影响因品种不同差异很大,随着种植密度增加,榆玉3号与郑单958子粒粗脂肪含量均显著增加,陕单636子粒粗脂肪含量显著下降,而陕单609、

先玉335和秋润100密度处理间粗脂肪百分含量差异不显著;先玉335两种密度条件下粗脂肪含量均较低,而榆玉3号粗脂肪含量在不同密度下均显著高于其他5个品种。

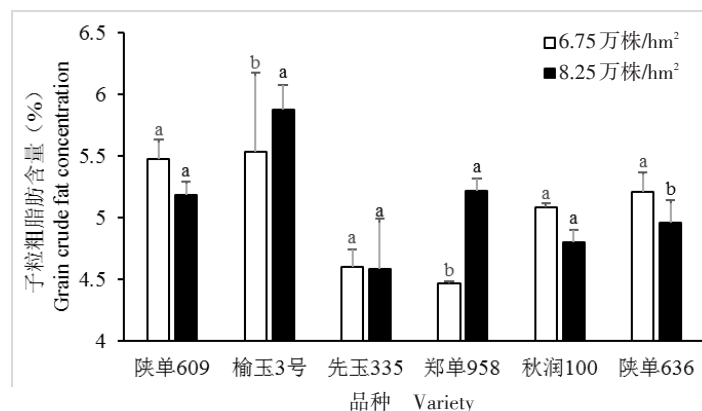


图4 不同品种、不同密度对玉米子粒粗脂肪含量的影响

Fig.4 Effect of grain crude fat concentration of different varieties under different planting densities

3 结论与讨论

玉米品种、密度均能显著影响玉米产量和营养品质。其中,品种的影响取决于遗传特性,是决定玉米产量和营养品质的主要因素,而密度主要通过调节群体结构,改变冠层内部环境,进而对产量、产量构成因素和营养品质产生影响。

玉米产量和品质受遗传因素、环境因素和栽培管理措施的共同影响^[12-14],多年来,从产量构成因素角度探讨玉米高产问题一直为玉米科学界普遍采用。侯月^[15]研究报道,郑单958在2 500~5 500株/667 m²密度范围内,增加种植密度即增加穗数对提高产量的贡献较大;在5 500~8 500株/667 m²密度范围内,提高穗粒数和粒重对获得高产的作用明显。本研究结果显示,密植条件下,品种间子粒产量差异明显,陕单609、先玉335和榆玉3号的产量显著高于其他品种。陕单636增密后影响产量的主要因素是粒重,先玉335和郑单958增密后影响产量的主要因素是穗粒数,陕单609、榆玉3号和秋润100增密后影响产量的因素是穗粒数和粒重。因此,在一定的密度范围内,通过协调群体穗数和穗粒数的矛盾,保证玉米吐丝授粉,提高受精率和成粒率是玉米高产的关键。

不同种植密度间的生物产量存在极显著差异,但品种与密度互作之间差异不显著^[16]。本研究表明,随着种植密度的增加,各玉米品种单株干物质均出现不同程度的降低,但群体干物质产量都随着种植密度的增加而增加,物质积累量随种植密度增加处理间差异显著,说明增加种植密度群体优势弥补了单株干物质积累量的减少,从而群体干物质积累量随密度增大而增加,即在高产田条件下通过进一步增加种植密度增加干物质积累量、进而获得高产。

玉米品质受基因型和环境共同决定,而栽培措施有一定的调控作用^[17]。一些研究认为,种植密度对玉米子粒营养组分含量有明显影响。张郑伟等^[18]研究结果表明,不同品种的4个品质性状对种植密度的响应存在差异。郑丽萍等^[19]研究结果显示,子粒蛋白质含量随密度增大表现为逐渐下降趋势;粗脂肪含量表现为与密度负相关;粗淀粉含量在6.75万株/hm²密度下达到最高。黄兴辉^[20]研究在低密度范围内(2.4万~3.5万株/hm²)随着种植密度的增加,玉米的蛋白质和赖氨酸的含量随之增加。邵书静^[21]研究发现,在种植密度45 000~75 000株/hm²范围内,随着种植密度的增加,陕单8806和郑单958的子粒粗蛋白和粗脂肪含量呈递减趋势。也有一些研究

认为,种植密度对玉米子粒营养组分含量没有明显影响。李波等^[22]以江单4号为试验品种在5种密度下的研究表明,随着种植密度的增加,玉米的淀粉、粗脂肪含量没有达到显著水平。黄兴辉研究认为,玉米的品种和种植密度与蛋白质和赖氨酸含量差异达到了显著水平,与粗脂肪和淀粉含量差异不明显。本研究在当地普遍种植的两个密度范围内(67 500、82 500株/hm²)对6个不同类型玉米的子粒淀粉、蛋白质、粗脂肪含量进行了较系统研究,发现随种植密度增加,陕单609、榆玉3号、先玉335蛋白质百分含量变化不大,而秋润100、陕单636和郑单958子粒蛋白百分含量均随密度增大而显著降低,说明由于品种遗传特性不同,蛋白质含量对密度反应的程度不同,郑单958、秋润100和陕单636在密度合理的情况下,子粒粗蛋白百分含量可以达到一个较高的水平。6个品种的子粒淀粉含量的增减变化趋势较为复杂,无规律性,玉米品种陕单609、榆玉3号、先玉335在低密度条件下(67 500株/hm²)可以获得较高的子粒淀粉含量,而陕单636在高密度条件下(82 500株/hm²)子粒淀粉含量最高。所以,以淀粉含量为选择标准时,低密度种植条件下品种陕单609、榆玉3号、先玉335均可,而高密度种植时陕单636表现最好。种植密度对玉米子粒粗脂肪含量的影响因品种不同差异很大,玉米品种榆玉3号在两个密度条件下粗脂肪含量均最高,故以粗脂肪为选择标准时,榆玉3号表现较好。

本试验仅从15 000株/hm²的密度差异条件下研究了种植密度和品种对玉米品质和产量的影响,密度的进一步增大是否会加剧或改变不同品种的产量与品质效应,还有待进一步研究。在本区域现有生产水平下,密度增加15 000株/hm²是现实可行的。

参考文献:

- [1] 张起君,黄舜阶,刘绍棣,等.玉米高产开发原理与技术[M].山东科学技术出版社,1992.
- [2] 佟屏亚.论我国玉米的增产潜力和发展策略[J].中国农学通报,1991(2).
Tong P Y. On the potential and development strategy of maize yield increase in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1991 (2). (in Chinese)
- [3] 薛吉全,马国胜,路海东.重视饲用玉米发展促进农业结构调整[J].玉米科学,2004,12(z2):122-124.
Xue J Q, Ma G S, Lu H D. Attention should be paid to the development of feeding maize to promote the adjustment of agricultural structure[J]. Journal of Maize Sciences, 2004, 12(z2): 122-124. (in Chinese)
- [4] 黄季焜.科技:解决中国粮食问题之关键[J].科技潮,1998(11):38-39.

- Huang J K. Science and technology: the key to solving China's food problem[J]. Science and Technology Trend, 1998(11): 38–39. (in Chinese)
- [5] 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.
- Chen L, Zhang B S, Wang H S, et al. Effects of ecological environment and planting density on yield and quality of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(2): 88–93. (in Chinese)
- [6] 路海东. 密度对不同类型饲用玉米产量和品质的影响[D]. 西北农林科技大学, 2006.
- [7] 白琪林. 青贮玉米秸秆品质性状遗传及其近红外测定方法的研究[D]. 中国农业大学, 2005.
- [8] 王鹏文, 戴俊英, 赵桂坤, 等. 玉米种植密度对产量和品质的影响[J]. 玉米科学, 1996, 4(4): 43–46.
- Wang P W, Dai J Y, Zhao G K, et al. Effects of maize planting density on yield and quality[J]. Journal of Maize Sciences 1996, 4(4): 43–46. (in Chinese)
- [9] 王明泉. 不同种植密度对玉米生理性状、产量和品质影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 6–10.
- Wang M Q. Research progress on effects of different planting densities on maize physiological characters, yield and quality[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(24): 6–10. (in Chinese)
- [10] 邢锦丰, 赵久然, 黄长玲, 等. 密植育种法在选育玉米自交系中的应用[J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 54–55.
- Xing J F, Zhao J R, Huang C L, et al. Application of dense planting breeding method in breeding maize inbred lines[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(2): 54–55. (in Chinese)
- [11] 张吉旺, 胡昌浩, 王空军, 等. 收割时期对不同类型玉米饲用营养价值的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(2): 66–70.
- Zhang J W, Hu C H, Wang K J, et al. Effects of harvesting time on nutritional value of different types of maize for feeding[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2004, 19(2): 66–70. (in Chinese)
- [12] Reddy B, Sanjana P, Bidinger F, et al. Crop management factors influencing yield and quality of crop residues[J]. Field Crops Research, 2003, 84(1): 57–77.
- [13] 刘淑云, 董树亭, 胡昌浩, 等. 玉米产量和品质与生态环境的关系[J]. 作物学报, 2005, 31(5): 571–576.
- Liu S Y, Dong S T, Hu C H, et al. Relationship between maize yield and quality and ecological environment[J]. Crops, 2005, 31(5): 571–576. (in Chinese)
- [14] 陈世勇, 谭庆军, 赵荣芳, 等. 应用土壤无机氮测试优化青贮玉米氮素管理[J]. 草业学报, 2008, 17(3): 156–161.
- Chen S Y, Tan Q J, Zhao R F, et al. Application of soil inorganic nitrogen test to optimize nitrogen management of silage corn[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 17(3): 156–161. (in Chinese)
- [15] 侯月. 种植密度对玉米产量及相关生理特性影响的研究[D]. 天津农学院, 2015.
- [16] 王霞, 王振华, 金益, 等. 种植密度对青贮玉米生物产量及部分农艺性状的影响[J]. 玉米科学, 2005, 13(2): 94–96.
- Wang X, Wang Z H, Jin Y, et al. Effects of planting density on biomass production and agricultural characters of silage corn[J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(2): 94–96. (in Chinese)
- [17] 郑东泽. 气象因素对寒地玉米生长发育、产量及品质的影响[D]. 东北农业大学, 2013.
- [18] 张郑伟, 王哲玮, 路运才. 不同类型玉米品种产量和品质相关性对种植密度的响应[J]. 中国农学通报, 2015, 31(27): 53–58.
- Zhang Z W, Wang X W, Lu Y C. Response of yield and quality-related traits of different maize varieties to planting density[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(27): 53–58. (in Chinese)
- [19] 郑丽萍, 田森林, 李爱军, 等. 不同种植密度对早熟玉米‘晋单84号’产量及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(3): 201–204.
- Zheng L P, Tian S L, Li A J, et al. Effects of different planting densities on yield and quality of early maturity maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(3): 201–204. (in Chinese)
- [20] 黄兴辉. 玉米种植密度对产量和品质的影响[J]. 农业与技术, 2015, 35(16): 155–156.
- Huang X H. Effects of maize planting density on yield and quality[J]. Agriculture and Technology, 2015, 35(16): 155–156. (in Chinese)
- [21] 邵书静. 品种、氮肥和种植密度对玉米产量与品质的影响[D]. 西北农林科技大学, 2010.
- [22] 李波, 陈喜昌, 张宇, 等. 密度对玉米品质及穗部性状的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2010(4): 18–21.
- Li B, Chen X C, Zhang Y, et al. Effects of density on maize quality and ear traits[J]. Agricultural Sciences of Heilongjiang, 2010(4): 18–21. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)