

玉米不同粒位子粒容重与子粒物理性状的相关分析

张 丽¹, 张吉旺², 周 伟³, 樊 昕⁴, 刘 鹏², 董树亭²

(1. 山东农业大学植保学院/作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学农学院, 山东 泰安 271018;
3. 临沂市种子管理站, 山东 临沂 276000; 4. 泰安市科学技术情报研究所, 山东 泰安 271000)

摘 要: 以普通型品种农大108、郑单958和高淀粉型品种费玉3号、郑单18为试验材料, 研究玉米不同粒位子粒容重与子粒物理性状指标间的相关关系。结果表明, 高淀粉型玉米的容重高于普通型玉米, 不同粒位玉米子粒容重表现为下部子粒>上部子粒>中部子粒。相关分析结果表明, 玉米子粒容重与比重呈极显著正相关, 与单粒重呈显著正相关, 与粒长、粒长/粒宽、单粒体积以及盛装效率呈正相关, 但相关系数未达到显著水平。容重与漂浮率和子粒水分含量均呈显著负相关, 玉米上部、中部和下部子粒水分含量平均每下降一个百分点, 子粒容重平均上升5.10、5.41和5.63 g/L。

关键词: 玉米; 粒位; 容重; 子粒性状

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Correlation Analysis on Test Weight of Maize Grains at Different Grain Positions with Grain Physical Characters

ZHANG Li¹, ZHANG Ji-wang², ZHOU Wei³, FAN Xin⁴, LIU Peng², DONG Shu-ting²

(1. Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology/
College of Plant Protection, Tai'an 271018;

2. College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018;

3. Linyi Seed Management Station, Linyi 276000;

4. Tai'an Institute of Scientific and Technical Information, Tai'an 271000, China)

Abstract: In the present experiment, four maize cultivars (Nongda108 and Zhendan958 as common maize, Feiyu3 and Zhendan18 as high starch maize) were used to study and discuss the correlation between test weight and grain physical characters of apical, middle and basal grain. The result showed that the test weight of high starch maize was higher than that of normal maize. Test weight values of different grain positions expressed as basal grain > apical grain > middle grain. Correlation analysis showed that test weight was significantly and positively correlated with specific gravity and single grain weight. Meanwhile, test weight and grain length, grain length/width, single grain volume and packing efficiency were positively correlated, but the correlation coefficient could not reach significant levels. On the contrary, test weight was correlated with percent floater and percent water content after harvest significantly and negatively. With the percent water content decreasing, test weight was increasing. Each decreasing of percent water would result in 5.10, 5.41 and 5.63 g/L increasing of test weight in apical, middle and basal maize grain.

Key words: Maize; Grain position; Test weight; Grain character

收稿日期: 2014-11-15

基金项目: 作物生物学国家重点实验室开放基金(2012KF07)

作者简介: 张 丽(1981-), 女, 山东泰安人, 博士, 研究方向为玉米生理生态。E-mail: lilizhang324@163.com
董树亭为本文通讯作者。

容重系指粮食子粒在单位容积内的重量, 作为玉米商品品质的重要指标, 能够真实地反映玉米的成熟度、完整度、均匀度和使用价值^[1~6], 成为国际贸易中质量定级的重要因素, 已经引起了国内外育种和栽培工作者的重视。中华人民共和国国家标准

《玉米》GB1353-1999修订对《玉米》GB1353-1986标准作了技术改变,适应了粮食由数量扩张型向质量效益型转变和加入WTO与国际接轨的需要^[7]。《玉米》GB1353-2009调整了容重等级指标,将3个等级调整为5个等级,并增加了等外级,容重偏低是困扰我国玉米生产低商品品质的主要问题之一。因此,对玉米子粒容重性状展开系统研究,将有助于提高玉米子粒容重,改善玉米商品品质。

前人研究表明,容重受品种、氮肥、水分含量及干燥温度^[8-14]等众多因素的影响。子粒容重与子粒营养成分含量的相关分析表明,子粒容重与淀粉总含量呈显著正相关^[15],与蛋白质含量呈显著正相关,与粗脂肪含量呈负相关。玉米容重与玉米粒型、子粒比重及硬度等其他物理性状之间关系密切。硬度反映了子粒粉质胚乳与角质胚乳的比率,角质胚乳占的比例越大,子粒硬度越好^[16],硬度与玉米子粒的容重和比重有显著相关性^[17]。水分含量也影响玉米的容重和比重,水分含量越高,玉米子粒的比重和容重越低。Leonard^[18]早在1935年就发现,玉米果穗在未完全成熟阶段收获后,其子粒容重与含水量呈显著负相关。关于粒位对玉米子粒油分含量^[19]、直链淀粉含量^[20]的影响也有相关报道。国内外对玉米子粒容重的研究主要集中在燕麦、小麦等作物^[21-23],而关于玉米子粒容重的系统研究尤其是粒位对子粒容重的影响却鲜见报道。本研究以两种类型4个不同玉米品种为供试材料,研究不同粒位子粒容重与子粒性状指标间的相互关系,为提高子粒容重、改善玉米商品品质以及优质玉米品种的选育和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验选用普通型品种农大108(ND108)、郑单958(ZD958)和高淀粉型品种费玉3号(FY3)和郑单18(ZD18)。试验于2011~2012年在山东农业大学玉米科技园进行。分别于每年的6月5号播种,种植密度为45 000株/hm²。采用完全随机区组排列,重复3次,小区面积为26.0 m²(2.6 m×10 m)。试验地土壤质地为壤土,0~20 cm土层速效氮、速效磷和速效钾含量分别为72.83、73.18和79.79 mg/kg。基肥施磷酸二铵600 kg/hm²,大喇叭口期追施尿素450 kg/hm²,生育期内给予良好的田间管理。试验期间玉米生长发育正常,为了保证取样一致,每小区在果穗吐丝前选生长一致的植株20株左右进行统一套袋,混合授粉。子粒生理成熟时开始取样(以子粒黑色层出现

为子粒达到生理成熟的标志),每小区取15个玉米穗装入网袋,分上部、中部和下部分别进行脱粒,自然风干后子粒进行室内考种测量其主要物理性状。

1.2 测定项目与方法

容重采用GHCS-1000型容重器(漏斗下口直径为40 mm)国标法《玉米》GB1353-1999附录A(标准目录)测定,于收获脱粒后进行初始容重测定,自然条件下进行风干晾晒,于脱粒后10、20、30、40和60 d各测定1次容重变化,每样品测定3次,计算容重平均值;并于每次测量前各样品取子粒200粒,烘干法测定其水分含量,重复3次,计算样品水分含量平均值。子粒物理性状指标包括粒重、粒长、粒宽、粒厚、子粒体积、漂浮率等,样品采用自然风干60 d后的子粒,粒重用千分之一的电子天平称量,粒长、粒宽、粒厚分别用游标卡尺测定,每个品种随机测量100粒种子,3次重复,然后计算其平均值;子粒体积用排酒精法测得;比重=粒重/体积;盛装效率=(容重/比重)×100%^[24];漂浮率的测定采用浮标实验,参照Paulsen(1985)的方法用波美计调节NaNO₃溶液密度为1.20 g/cm³,数取100粒成熟期玉米子粒浸入NaNO₃溶液中,观察漂浮子粒的个数并计数,重复3次,计算漂浮率平均值,漂浮率=漂浮子粒个数/100×100%。

1.3 统计分析

采用Microsoft Excel 2012和DPS统计软件6.55对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 玉米不同粒位子粒容重与子粒物理性状指标

由表1可以看出,高淀粉玉米品种子粒容重、单粒重、单粒体积和比重均高于普通型玉米品种,高淀粉型玉米上部子粒、中部子粒及下部子粒的容重平均值比普通型玉米子粒容重分别高出1.65%、2.20%和2.43%。不同粒位之间比较,下部子粒不同品种的玉米容重平均值(754.58 g/L)最高,其次是上部子粒容重(752.95 g/L),中部子粒容重(750.35 g/L)最低,上部子粒和下部子粒之间容重差异不显著;单粒重和单粒体积均表现为上部子粒显著低于中部子粒和下部子粒;子粒比重下部>中部>上部,但差异不显著。

玉米的粒长、粒宽和粒厚三者的乘积构成了玉米的粒体积。不同品种间比较,普通型玉米各部位子粒粒长均大于高淀粉型玉米子粒,粒宽和粒厚正好相反,品种间的差异均未达到显著水平。不同粒

位之间比较,中部子粒的粒长、粒宽均大于上部子粒和下部子粒,粒厚却正好相反,不同粒位间粒长、粒宽和粒厚差异均未达到显著水平。盛装效率表现为上部子粒和下部子粒显著高于中部子粒。

表 1 不同品种和粒位间容重、子粒性状及盛装效率均值
Table 1 Test weight, kernel size features, and packing efficiency means for each hybrid and grain position level

粒 位	品 种	容 重	单粒重(mg)	单粒体积(cm³)	比重(g/cm³)	粒长	粒宽(cm)	粒 厚	盛装效率(%)
Position	Hybrid	(g/L)	Single grain weight	Single grain volume	Specific gravity	(cm)	Grain thickness	(cm)	Packing efficiency
上部	高淀粉	759.20	304.21	0.249	1.225	1.063	0.868	0.515	61.95
	普通型	746.68	286.06	0.238	1.197	1.098	0.825	0.491	62.35
	平均值	752.95 a	295.20 b	0.244 b	1.209 b	1.081 b	0.847 ab	0.503 a	62.29 a
中部	高淀粉	758.69	330.74	0.269	1.229	1.133	0.900	0.463	61.73
	普通型	742.01	313.39	0.261	1.200	1.180	0.877	0.442	61.83
	平均值	750.35 b	322.13 a	0.265 a	1.214 ab	1.157 ab	0.888 a	0.453 ab	61.81 b
下部	高淀粉	763.83	328.54	0.266	1.226	1.053	0.895	0.512	62.27
	普通型	745.29	315.86	0.263	1.204	1.125	0.876	0.495	61.91
	平均值	754.58 a	322.15 a	0.265 a	1.216 a	1.089 b	0.886 a	0.503 a	62.10 a

注:同列中标记相同字母表示在 0.05 水平上不显著。
Note: Means followed by the same letter within the same column are not significantly different (P < 0.05).

2.2 容重与子粒物理性状间的简单相关分析

由表 2 可以看出,玉米子粒容重与比重呈极显著正相关($r=0.71, P<0.001$),与单粒重呈显著正相关($r=0.44, P<0.01$),与粒长($r=0.25$)、粒长/粒宽($r=0.24$)、单粒体积($r=0.26$)以及盛装效率($r=0.17$)呈正相关,但相关系数均达不到显著水平。容重与粒宽和粒厚呈

负相关,但相关系数也均达不到显著水平。单粒重与粒宽、单粒体积均呈正相关,且单粒重与单粒体积的相关系数达极显著水平($r=0.96, P<0.001$)。子粒比重与盛装效率呈极显著负相关($r=-0.57, P<0.001$),与粒重($r=0.48, P<0.01$)呈显著正相关。盛装效率与粒长/粒宽比呈正相关($r=0.16$)。

表 2 容重与子粒性状间的简单相关系数
Table 2 Simple correlation coefficients among test weight and kernel traits

性状指标	容 重	粒 长	粒 宽	粒 厚	粒长/粒宽	单粒重	单粒体积	比重	盛装效率
Trait index	Test weight	Grain length	Grain width	Grain thickness	Rectangular aspect ratio	Single grain weight	Single grain volume	Specific gravity	Packing efficiency
容重	1								
粒长	0.25	1							
粒宽	-0.10	-0.43**	1						
粒厚	-0.12	-0.76***	0.40*	1					
粒长/粒宽	0.24	0.87***	-0.83***	-0.68***	1				
单粒重	0.44**	0.24	0.42*	-0.01	-0.07	1			
单粒体积	0.26	0.20	0.45**	0.06	-0.11	0.96***	1		
比重	0.71***	0.16	0.07	-0.15	0.09	0.48**	0.21	1	
盛装效率	0.17	0.06	-0.22	0.07	0.16	-0.15	0.02	-0.57***	1

注:*,**,和***分别代表在 0.05,0.01 和 0.001 上的显著水平。
Note: *, **, and ***represents significant at the 0.05, 0.01, 0.001 level of probability, respectively.

2.3 容重与漂浮率的关系

漂浮率是子粒硬度的评价指标,漂浮率越高,硬度越低。如图 1 所示,2011 年和 2012 年的数据表明,容重与漂浮率成显著负相关,容重与漂浮率的线

性回归方程的相关系数分别为 $R^2=0.822(P<0.05)$ 和 $R^2=0.785(P<0.05)$ 。

2.4 容重与收获后子粒水分含量的关系

2011 年和 2012 年数据表明,玉米上部、中部和

下部子粒的容重与水分含量均呈显著负相关(图2)。收获初期子粒水分含量较高,平均范围在21.81%~26.48%,随着水分含量的下降,子粒容重呈上升趋势

势,到末期水分含量下降至10.38%~12.97%。上部、中部和下部子粒水分含量平均每下降一个百分点,容重平均上升5.10、5.41和5.63 g/L。

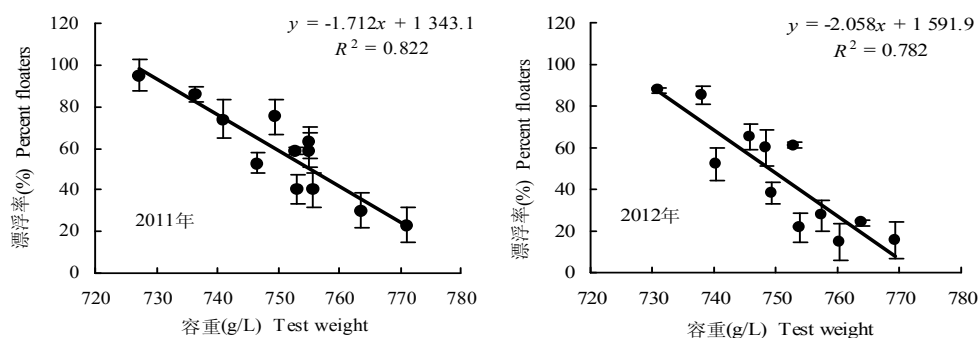


图1 玉米子粒容重与漂浮率的相关性

Fig.1 Correlation analysis between test weight and percent floaters

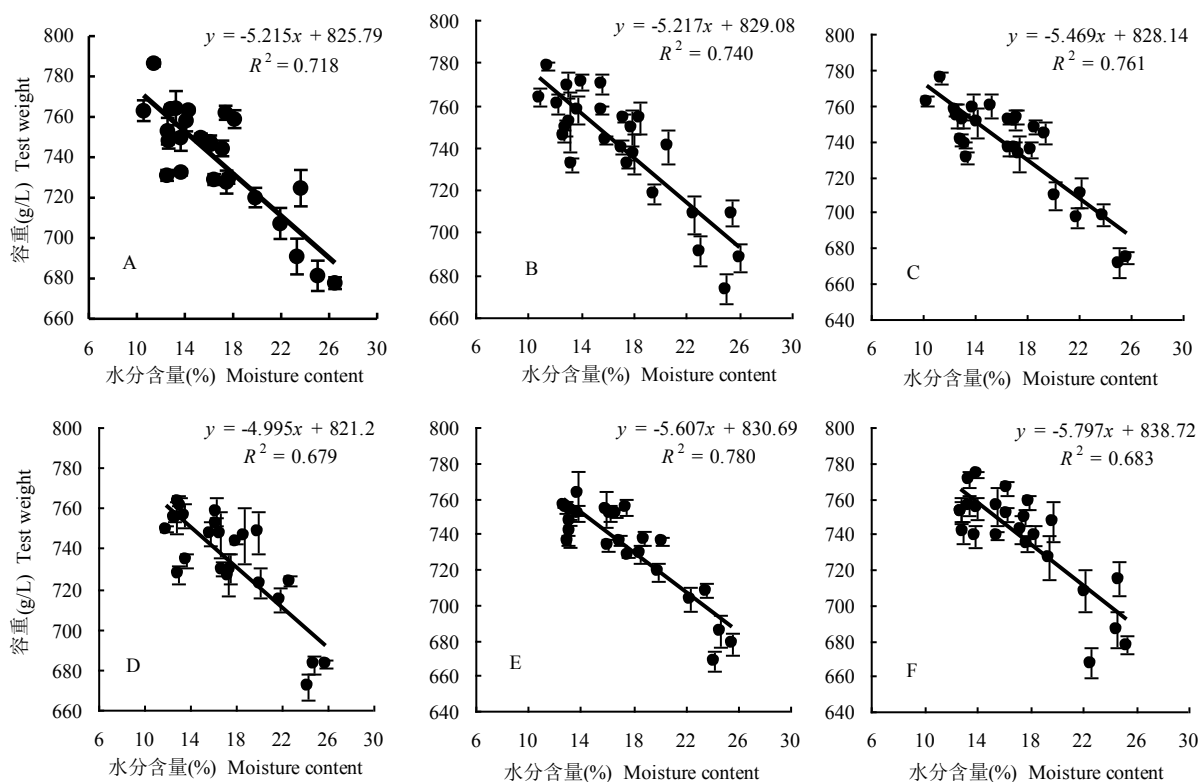


图2 玉米上部(A,D)、中部(B,E)及下部(C,F)子粒容重与水分含量的相关性分析

Fig.2 Correlation analysis between test weight and moisture content of apical(A, D), middle (B, E) and basal(C, F) kernels of maize

3 结论与讨论

品种的多样性导致容重的差异,不同基因型之间容重差异很大。本试验结果表明,高淀粉型玉米上部子粒、中部子粒及下部子粒的容重均高于普通型玉米。玉米容重与粒型、粒重及比重等其他物理性状之间有密切关系。子粒形状受基因型控制影响玉米容重,圆形子粒玉米容重高于扁平子粒玉米容

重。粒长、粒宽、粒长/粒宽、粒厚以及单粒体积一定程度上反映了子粒形状的差异。本研究结果表明,容重与粒长($r=0.25$)、粒长/粒宽($r=0.24$)、单粒体积($r=0.26$)呈正相关,与粒宽和粒厚呈负相关,但相关系数均达不到显著水平,说明玉米容重与子粒形状关系密切,而与子粒大小关系不大。子粒比重和盛装效率是衡量容重的两个重要指标。本研究结果表明,玉米子粒容重与比重呈极显著正相关($r=0.71$,

$P<0.001$),与单粒重呈显著正相关($r=0.44$, $P<0.01$),与盛装效率($r=0.17$)呈正相关,但相关系数未达显著水平,说明比重和粒重是衡量玉米容重的两个重要指标。

硬度与玉米子粒的容重和比重有显著相关性。漂浮率是子粒硬度的评价指标,漂浮率越高,硬度越低。本研究结果表明,容重与漂浮率成显著负相关,说明容重与硬度呈一定程度正相关。硬度同时反映了子粒粉质胚乳与角质胚乳的比率,角质胚乳占的比例越大,子粒硬度越好,而淀粉粒的大小、形状与排列与子粒角质化程度、硬度有相关性。

子粒水分含量是影响玉米品质的重要因素之一,水分含量越高,玉米子粒的比重和容重越低。本研究结果表明,玉米容重与子粒含水量呈显著负相关。随着水分含量的增加,玉米容重显著下降,主要是因为水的比重小于玉米容重;另外水分含量增加,子粒膨胀,表面摩擦系数增加,玉米子粒散落性下降,容积孔隙度增加,盛装效率下降,容重降低。

本研究对玉米不同粒位间的容重差异进行比较,结果表明,下部子粒不同品种的玉米容重平均值(754.58 g/L)最高,其次是上部子粒容重(752.95 g/L),中部子粒容重(750.35 g/L)最低,但上部子粒和下部子粒之间容重差异不显著。其原因为玉米中部子粒较下部和上部子粒性状要扁平一些;另外,下部子粒较高的单粒重、子粒比重、盛装效率也是其容重较高的主要原因。

参考文献:

- [1] Rumbaugh M D. Test weight and maturity of corn[J]. *Agronomy Journal*, 1959, 51: 307.
- [2] 高春霞. 对玉米容重检验方法的初步探讨[J]. *黑龙江农业科学*, 2001(5): 44.
Gao C X. Preliminary discussion on corn capacity test method[J]. *Heilongjiang Agricultural Science*, 2001(5): 44. (in Chinese)
- [3] Rush I, Weichenthal B, Van Pelt B. Feeding value of light test weight corn for growing and finishing steers[J]. *Nebraska Beef Report*, 1996: 54–55.
- [4] Paulsen M R, Hill L D. Corn quality factors affecting dry milling performance[J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1985, 31: 255–263.
- [5] Kirleis A, Wand Steroshine R L. Effects of hardness and drying air temperature on breakage susceptibility and dry-milling characteristics of yellow dent corn[J]. *Cereal Chemistry*, 1990, 67: 523–528.
- [6] Fox S R, Johnson L A, Hurburgh C R, et al. Relations of grain proximate composition and physical properties to wet-milling characteristics of maize[J]. *Cereal Chemistry*, 1992, 69: 191–197.
- [7] 宋秀娟. 对玉米烘干降水后容重下降的分析与解决方法[J]. *黑龙江粮食*, 2002, 4: 43.
- [8] Song X J. Analyses and solution method for decreasing of maize test weight after corn drying [J]. *Journal of Heilongjiang Cereals*, 2002, 4: 43. (in Chinese)
- [9] Duarte A P, Mason S C, Jackson D S, et al. Grain quality of brazilian maize genotypes as influenced by nitrogen level[J]. *Crop Science*, 2005, 45: 1958–1964.
- [10] Zhang L, Dong S T, Liu C H, et al. Correlation analysis on maize test weight, yield and quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40: 305–411. (in Chinese)
- [11] Oikeh S O, Kling J G, Okoruwa A E. Nitrogen fertilizer management effects on maize grain quality in the West African moist savanna[J]. *Crop Science*, 1998, 38: 1056–1061.
- [12] Dorsey-Redding C, Hurburgh C R, Johnson L A, et al. Adjustment of maize quality data for moisture content[J]. *Cereal Chemistry*, 1990, 67(3): 292–295.
- [13] Karababa E. Physical properties of popcorn kernels[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 72: 100–107.
- [14] Hall G E. Test weight changes of shelled corn during drying[J]. *Transactions of the ASAE*, 1972, 15: 320.
- [15] Gunasekaran S, Paulsen M R. Breakage resistance of corn as a function of drying rates[J]. *Transactions of the ASAE*, 1985, 28: 2071.
- [16] Weller C L, Paulsen M R, Steinberg M P. Correlation of starch recovery with assorted quality factors of four corn hybrids[J]. *Cereal Chemistry*, 1988, 65: 392–397.
- [17] Dorsey-Redding C, Hurburgh C R, Johnson L A, et al. Relationships among maize quality factors[J]. *Cereal Chemistry*, 1991, 68 (6): 602–605.
- [18] Lee K M, Herrman T J, Lingenfelser J, et al. Classification and prediction of maize hardness-associated properties using multivariate statistical analyses[J]. *Cereal Science*, 2005, 41: 85–93.
- [19] Leonard, Warren H. The relation between bushel weight and maturity in corn[J]. *Journal of the American Society Agronomy*, 1935, 27: 928–933.
- [20] Lambert R J, Alexander D E, Robgers R C. Effect of kernel position on oil content in corn(*Zea mays* L.)[J]. *Crop Science*, 1967, 7: 143–144.
- [21] Jellum M D. Fatty acid composition of corn oil as influenced by kernel position on ear[J]. *Crop Science*, 1967, 7: 593–595.
- [22] Matsuo P R, Dexter J E. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1980, 60: 49–53.
- [23] Piexy K V, Frey K J. Genetic interrelations among grain quality indicators and agronomic traits for oat[J]. *Euphytica*, 1992, 60: 149–156.
- [24] Troccoli A, di Fonzo N. Relationship between kernel size features and test weight in *Triticum durum*[J]. *Cereal Chemistry*, 1999, 76: 45–49.
- [25] Yamazaki W T, Briggles L W. Components of test weight in soft wheat[J]. *Crop Science*, 1969, 9: 457–459.

(责任编辑:高 阳)