

# 中国重要玉米自交系种质资源子粒性状特征分析

李鑫, 李永祥, 吴迅, 白娜, 宋燕春, 张登峰, 王天宇, 黎裕, 石云素

(中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 玉米子粒性状是决定玉米产量的重要因素。为了解析中国重要玉米种质资源子粒性状的遗传变异基础, 本研究以具有广泛遗传多样性的 627 份重要玉米自交系为材料, 运用相关分析与逐步回归的方法, 探讨了我国玉米自交系种质资源的子粒性状特征。结果表明, 百粒体积与百粒重存在极显著正相关。逐步回归分析表明, 百粒体积对百粒重表型变异的贡献高达 78%。针对不同杂种优势群的子粒性状特征分析表明, 粒宽对百粒体积的贡献率在瑞德、旅大红骨、兰卡斯特和 P 群中均为最大, 贡献率在 54% ~ 71% 之间。而在塘四平头类群中, 粒厚和粒长的贡献率分别为 45% 和 22%。该研究旨在为利用不同类型种质资源开展子粒性状遗传解析提供参考和依据。

**关键词:** 玉米; 百粒重; 百粒体积; 粒宽

## Characteristic Analysis of Kernel Related Traits in Important Maize Inbred Lines of China

LI Xin, LI Yong-xiang, WU Xun, BAI Na, SONG Yan-chun,  
ZHANG Deng-feng, WANG Tian-yu, LI Yu, SHI Yun-su

(Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Kernel related traits are important determinant factors for maize yield. In order to explore the genetic basis of kernel variation about important Chinese maize germplasm, kernel related traits were investigated in a panel of 627 diverse important maize inbred lines by means of correlation analysis and regression analysis. It was indicated that 100-kernel volume and 100-kernel weight were significantly correlated and 100-kernel volume could explain 78% phenotypic variation explained (PVE) of 100-kernel weight. Regression analysis among different heterotic groups indicated that kernel width contributed the most to 100-kernel volume in the heterotic groups of Reid, LRC, Lancaster and P with the PVE varied from 54% to 71%. While in TSPT, kernel thickness and kernel length made great contribution to 100-kernel volume with the PVE of 45% and 22%, respectively. This result would provide positive information for kernel trait improvement in maize breeding.

**Key words:** maize; 100-kernel weight; 100-kernel volume; kernel width

作为粮、经、饲兼用高产粮食作物, 玉米生产在保证国家粮食安全方面具有重要意义<sup>[1]</sup>。子粒产量是玉米高产育种的最终目标。其中, 子粒大小是玉米品种改良过程中的重要性状之一<sup>[2]</sup>。研究

表明, 自 20 世纪 60 年代以来, 美国玉米杂交种百粒重每 10 年增加 2.5 g, 中国杂交种增加 2.1 g, 到 21 世纪初, 中美杂交种百粒重已累计提高 40% 以上<sup>[3]</sup>。同时, 我国不同时期重要玉米杂交种亲本

收稿日期: 2015-03-06 修回日期: 2015-03-18 网络出版日期: 2015-12-11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20151211.547.004.html>

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303007); 科技部、财政部国家科技基础条件平台(2014-003); 物种资源保护(农作物)项目(2014NWB030-04)

第一作者研究方向为玉米种质资源。E-mail: nkylxgogo@163.com

通信作者: 黎裕, 研究方向为玉米种质资源。E-mail: yuli03@caas.cn

石云素, 研究方向为玉米种质资源。E-mail: shiyunsu@caas.cn

的百粒重每10年可增加2.3 g,其增加速率超过杂交种<sup>[4]</sup>。因此,研究我国重要玉米自交系种质资源的子粒性状特征,探讨子粒性状遗传改良的限制因素,对开展种质创新和高产育种具有重要的意义。

自20世纪60年代,我国开始着手单交种选育。在育种实践中形成了不同的杂种优势类群,如:瑞德、旅大红骨、兰卡斯特、塘四平头、P群等5个杂种优势类群<sup>[5-8]</sup>。关于中国玉米自交系子粒性状特征的研究已有一些报道,李永祥等<sup>[9]</sup>、B. Peng等<sup>[10]</sup>、Z. H. Zhang等<sup>[11]</sup>和Y. Liu等<sup>[12]</sup>分别利用不同的亲本构建次级分离群体,结合分子标记对玉米产量及子粒性状进行了研究。但到目前为止,针对我国玉米基础育种资源,尤其是不同杂种优势类群玉米自交系的子粒性状特征分析鲜有系统研究报道。本研究以627份具有广泛遗传多样性,且能代表我国玉米种质基础的自交系为试验材料,经多年多点的表型鉴定,旨在揭示玉米子粒性状的相互关系,探讨我国重要玉米种质资源的子粒性状特征,明确不同杂种优势类群子粒性状的改良方向,从而为种质创新和新品种培育提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料由627份玉米自交系组成<sup>[5]</sup>,其中包括288份中国玉米核心种质<sup>[13-14]</sup>和339份重要玉米杂交种的亲本,如郑单958的亲本郑58和昌7-2,农大108的亲本黄C和178等。该批种质资源囊括了我国主要的杂种优势类群,具有广泛的表型和遗传多样性,在中国玉米育种实践中曾经或当前仍然发挥着重要作用。材料供种单位包括中国农业科学院作物科学研究所、中国农业大学国家玉米改良中心、华中农业大学等11所高校与科研院所。

### 1.2 田间试验

田间试验于2011年和2012年分别在北京顺义(39.48° N, 116.28° E)、吉林长春(43.88° N, 125.35° E)、山东泰安(36.11° N, 117.08° E)、四川南充(43.88° N, 125.35° E)和河南新乡(30.77° N, 106.10° E)5个地点进行,采取完全随机区组设计,2次重复,单行区,行长3 m,行距0.6 m,每行定苗12株。

### 1.3 性状测定

成熟后,从第2株开始,每行连续收获5株,待

果穗风干后考种。选取每个待测果穗中部排列规则的10个子粒,测量粒厚,将其取下排列整齐,测量粒长和粒宽,计算粒长/粒宽。并随机选取穗中部发育良好的100个子粒,测量百粒重和百粒体积,并计算子粒密度。所有性状均重复测量3次取平均值。不同年份不同环境条件下的表型数据间呈现出极显著正相关关系,为了减小环境误差,本研究选取不同环境的平均值做后续分析。

### 1.4 统计分析

**1.4.1 相关分析** 用SAS 9.2 (SAS Institute, Inc, Cary, NC)对子粒性状进行描述性统计分析。利用R软件<sup>[15]</sup>进行相关性分析,并绘制散点图和频数分布图。

**1.4.2 回归分析** 利用SAS 9.2软件的逐步回归模型<sup>[16]</sup>,以百粒重为依变量,分别与子粒密度和百粒体积进行回归分析。另外,还以百粒体积为依变量,分别与粒长、粒宽、粒厚和长/宽进行回归分析,比较各子粒相关性状对百粒重表型变异的贡献率。为了探讨不同杂种优势群的子粒性状变异特征,依据群体结构分析结果<sup>[5]</sup>,分别挑选不同亚群的典型材料,以共祖系数大于0.6为标准,挑选瑞德82份、旅大红骨130份、兰卡斯特96份、塘四平头41份、P群71份,以进行各类群的子粒相关性状回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 我国玉米重要自交系种质资源子粒性状特征分析

对627份自交系的子粒相关性状进行统计分析(表1),百粒重平均为22.93 g,百粒体积和子粒密度分别为19.83 mL和1.16 g/mL。百粒重和百粒体积的变化范围较大,分别为7.87~41.00 g和7.11~32.56 mL,子粒密度的变化范围较小为1.00~1.41 g/mL。由变异系数(CV)<sup>[17]</sup>分析可知,在7个子粒相关性状中,百粒重和百粒体积的变异最大(CV分别为18.32%和18.10%),子粒密度的变异最小(CV为5.17%)。

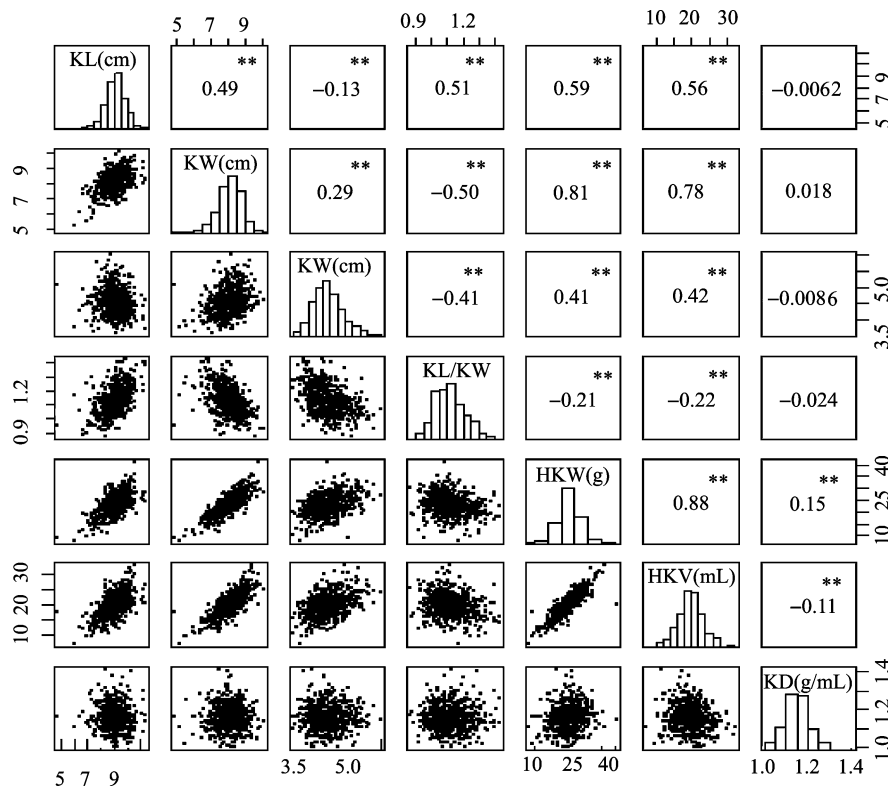
在4个粒形性状中,粒长的平均值(9.09 cm)大于粒宽的平均值(8.13 cm),且长/宽平均为1.12,可见子粒形态多为细长型子粒。但长/宽的变化范围为0.87~1.43,说明材料中也包括了一些粒长小于粒宽的扁圆形子粒。另外粒厚的平均值较小为4.54 cm,但粒厚的变异程度大于粒长,粒宽的变异最小。

表 1 627 份玉米自交系的 7 个子粒相关性状表型变异统计  
Table 1 Description statistics of 7 kernel related traits of 627 maize inbred lines

性状 Trait	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	最小值 Min.	最大值 Max.	变异 系数(%) CV
粒长 (cm) KL	9.09 ± 0.78	4.70	11.39	8.58
粒宽 (cm) KW	8.13 ± 0.69	4.95	10.10	8.49
粒厚 (cm) KT	4.54 ± 0.40	3.58	6.00	8.81
长/宽 KL/KW	1.12 ± 0.10	0.87	1.43	8.93
百粒重 (g) HKW	22.93 ± 4.20	7.87	41.00	18.32
百粒体积 (mL) HKV	19.83 ± 3.59	7.11	32.56	18.10
子粒密度 (g/mL) KD	1.16 ± 0.06	1.00	1.41	5.17

KL:kernel length, KW: kernel width, KT: kernel thickness, HKW: 100-kernel weight, HKV:100-kernel volume, KD:kernel density

相关分析表明(图 1),百粒重(除与长/宽呈极显著负相关外)与其他 5 个子粒相关性状间均存在极显著正相关关系,其中百粒重与百粒体积和粒宽的相关系数最大,分别为 0.88 ( $P < 0.0001$ ) 和 0.81 ( $P < 0.0001$ )。百粒体积与 4 个粒形相关性状均极显著相关,与粒宽的相关性最大,相关系数为 0.78 ( $P < 0.0001$ )。3 个粒形相关性状粒长、粒宽和粒厚,两两之间呈极显著相关,并且粒长和粒厚之间存在负相关关系。另外,长/宽是衡量子粒具体形状的一个次级性状,与粒厚、百粒重、百粒体积间均存在显著负相关。子粒密度是影响粒重的另一个重要因素,与百粒重极显著正相关,与百粒体积极显著负相关,与其他子粒相关性状则不存在显著相关关系。



左下角的黑色散点与右上角的数字分别代表不同性状间的相关性,柱形图代表不同性状的频数分布,‘\*\*’代表在 0.01 水平显著

Black scatter plots in the lower left quarter and the figure in the upper right corner represent the correlation between any two traits, the histograms represent the frequency distribution of different traits, ‘\*\*’ means statistical significance at alpha level of 0.01

图 1 中国玉米重要自交系 7 个子粒相关性状的相关性分析及频数分布

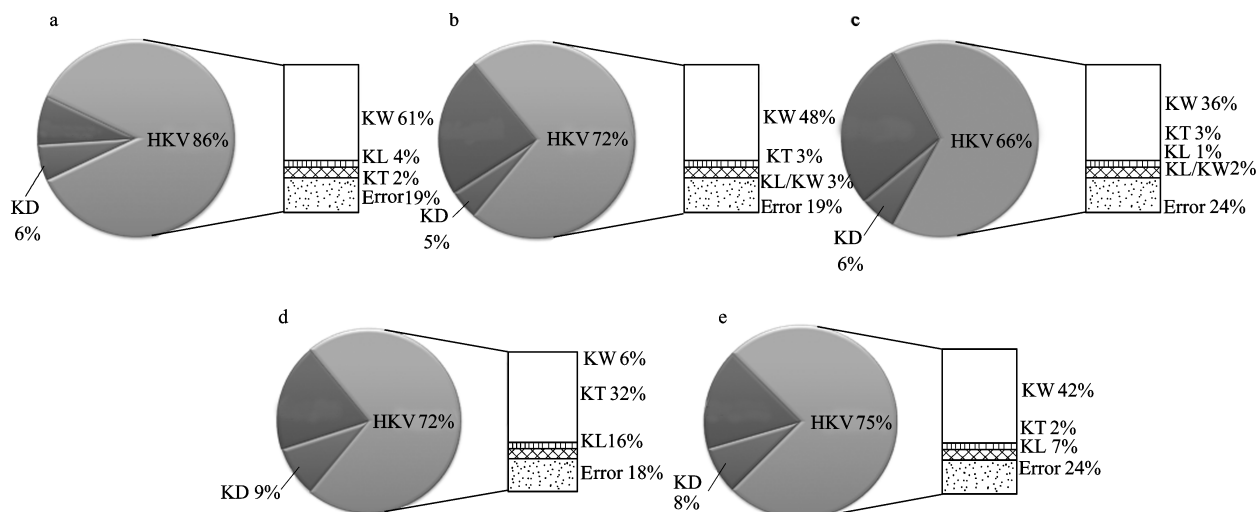
Fig. 1 Correlation analysis and frequency distribution of seven kernel related traits of important Chinese maize inbred lines

### 2.2 子粒相关性状对 HKW 的遗传贡献

以百粒重为依变量,子粒密度和百粒体积为自变量,进行逐步回归分析,最优回归方程为:  $HKW = 17.27KD^{**} + 1.07HKV^{**} - 18.23$ ,子粒密度和百粒体积共解释 84% 的表型变异,其中百粒体积能解释

78% 的表型变异(图 2)。由于百粒体积是粒长、粒宽和粒厚的综合表现,为了正确估计粒形(粒长、粒宽和粒厚)对百粒重的影响,本研究又以百粒体积为依变量,4 个粒形相关性状为自变量进行逐步回归分析,得到最优回归方程为:  $HKV = 1.98KL^{**} +$





a~e 分别代表 5 个亚群:瑞德、旅大红骨、兰卡斯特、塘四平头和 P 群

a-e represent five subgroups, including Reid, RLC, Lancaster, TSPT and P group

图 3 5 个类群子粒相关性状的回归分析

Fig. 3 Regression analysis of kernel related traits in five subgroups

### 3 讨论

#### 3.1 粒宽是决定我国玉米种质资源百粒重的关键因子

玉米粒重是产量的一个重要构成因子,由粒长、粒宽、粒厚和容重共同决定<sup>[18]</sup>。本研究所用的 627 份自交系具有遗传基础广泛、平均遗传多样性较高<sup>[5]</sup>等特点,其中包括了 288 份中国玉米核心种质<sup>[13-14]</sup>和近年来在生产上大面积推广应用的杂交种亲本自交系,这些自交系分别来自 6 个玉米主产区,多样性水平较高。回归分析结果显示,百粒体积和子粒密度这 2 个因子对百粒重的贡献都达到极显著水平,其中百粒体积的贡献率高达 78% (图 2),而子粒密度的贡献率仅为 6%,因此,百粒体积对百粒重的增减起到了更加重要的作用。进一步分析发现,3 个粒形相关性状粒宽、粒厚和粒长对百粒体积的贡献均达到显著水平,并且粒宽是对百粒体积影响最大的因素,贡献率达 65%。可以看出,粒宽是决定我国玉米种质资源百粒重的主要因素。

#### 3.2 不同杂种优势类群子粒相关性状的遗传改良

自交系杂种优势类群划分的重要性是由于它与杂种优势利用关系密切,对强优势组合的组配具有重要指导意义<sup>[19-20]</sup>。本研究对 5 个杂种优势类群的典型材料子粒相关性状进行回归分析,结果显示,百粒体积对百粒重的贡献远大于子粒密度的贡献。

因此,推测百粒体积是影响粒重,并最终决定产量的关键因素。百粒体积作为复杂的数量性状,是粒长、粒宽、粒厚以及长/宽的综合效应体现。在不同的亚群中,4 个粒形相关性状的显著性和对子粒体积的贡献率均存在差异。其中瑞德、旅大红骨、兰卡斯特和 P 群的粒宽对百粒体积贡献率最大,这与基于 627 份材料的回归分析结果相一致。在除塘四平头的其他 4 个类群中,粒宽的贡献均大于 50%,尤其在瑞德群中的贡献最大,达到 71%。而在塘四平头类群中,粒宽对百粒体积的贡献只有 8%,远小于粒厚(45%)和粒长(22%)的贡献。粒长对除旅大红骨以外的其他 4 个类群有贡献,对兰卡斯特的贡献最小为 2%,对塘四平头的贡献最大为 22%。粒厚对 5 个类群都有贡献,对塘四平头的贡献最大为 45%,对其他 4 个类群的贡献较小为 2%~4%。长/宽只对旅大红骨和兰卡斯特群有贡献,贡献率分别为 4%和 3%。从表型变异上揭示了不同亚群玉米种质子粒相关性状改良方面存在的差异。

总之,对我国玉米基础种质资源而言,百粒重的提高主要依赖于百粒体积的增加,而百粒体积的增加又依赖于子粒大小相关性状的改良。具体到各主要杂种优势类群,增加粒厚和粒长是塘四平头类群种质资源百粒重遗传改良的重要方向,而适当增加粒宽是其他 4 个类群百粒重改良的有效选择。

(下转 12 页)