

# 同一年份同一地区不同制种公司生产的京科 968 玉米种子质量对比

郝 运<sup>1</sup>, 刘珈良<sup>1</sup>, 吴伟锋<sup>1</sup>, 涂柯玲<sup>1</sup>, 许亚男<sup>1</sup>, 王 进<sup>2</sup>, 孙 群<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学农学院种子科学与生物技术系/农业农村部农作物种子全程技术研究北京创新中心/

北京市作物遗传改良重点实验室, 北京 100093; 2. 河西学院农业与生态工程学院, 甘肃 张掖 734000)

**摘 要:** 以 8 家种子公司 2020 年在甘肃省张掖地区生产加工的京科 968 玉米种子为材料, 检测标准发芽率和冷浸发芽率。结果表明, 不同公司生产的京科 968 玉米种子标准发芽率均在 95% 以上, 达到单粒播标准(93%), 批次间无显著差异; 冷浸发芽率在不同公司之间的差异达显著水平, 有 5 个批次的种子冷浸后发芽率显著降低。进一步分析检测到多个与冷浸发芽率显著相关的快检指标, 其中, R<sub>同质性</sub>和 B<sub>同质性</sub>与冷浸发芽率正相关, 相关系数达 0.7 以上; B<sub>相异度</sub>、裂纹率、龟裂纹率与冷浸发芽率显著负相关, 相关系数分别为 -0.728、-0.807、-0.717。对粒型、尺寸、单粒体积、单粒比重和单粒重进行比较, 发现不同公司生产的京科 968 玉米种子在上述指标上均存在显著差异。K-均值聚类表明, 有 3 个公司生产的京科 968 整齐度较高。

**关键词:** 玉米; 京科 968; 冷浸发芽测试; 种子活力快检指标; 整齐度

**中图分类号:** S513.01

**文献标识码:** A

## Comparison of Seed Quality of Jingke968 Maize Produced by Different Seed Companies in the Same Region and Year

HAO Yun<sup>1</sup>, LIU Jia-liang<sup>1</sup>, WU Wei-feng<sup>1</sup>, TU Ke-ling<sup>1</sup>, XU Ya-nan<sup>1</sup>, WANG Jin<sup>2</sup>, SUN Qun<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University / The Innovation Center(Beijing) of Crop Seeds Whole-Process Technology Research of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Beijing Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Beijing 100093;

2. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, China)

**Abstract:** Jingke968 maize seeds produced and processed by 8 seed companies in Zhangye area of Gansu province in 2020 were used as materials to test the standard germination percentage and cold soaking germination percentage. The results showed that the standard germination percentages of Jingke968 maize seeds produced by different companies were more than 95%, higher than the single kernel sowing standard(93%), and without significant difference. However, there was a significant difference in cold soaking germination percentage among different seed lots. The germination percentage of 5 seed lots decreased significantly after cold soaking. Further analysis revealed that two texture features, namely R<sub>homogeneity</sub> and B<sub>homogeneity</sub>, were significantly positively correlated with cold soaking germination percentage, and the correlation coefficients were both more than 0.7. There was a significant negative correlation between B<sub>dissimilarity</sub>, crack percentage, multiple crack percentage and cold soaking germination percentage, and the correlation coefficients were -0.728, -0.807 and -0.717, respectively. Based on the comparison of seed shape, size, single seed volume, single seed specific gravity and single grain weight, it was found that Jingke968 maize seeds from different companies had significant differences in the above features. K-means clustering showed that the seeds of 3 companies had a higher uniformity.

**Key words:** Maize; Jingke968; Cold soaking germination test; Rapid-test indicator of seed vigor; Uniformity

录用日期: 2022-08-30

基金项目: 农业农村部科技创新 2030 项目(2022ZD0400607), 科技部“十三五”重点研发项目(2018YFD0100903)

作者简介: 郝 运(1997-), 内蒙古呼和浩特人, 硕士, 主要从事玉米种子加工研究。E-mail: haoyun@cau.edu.cn

孙 群为本文通信作者。E-mail: sunqun@cau.edu.cn

种子是农业的“芯片”,是农业最基本的生产资料。种子质量的高低直接影响农作物的产量和品质。我国现行粮食作物种子质量标准(GB 4404.1-2008)规定,大田玉米种子发芽率不得低于85%。2021年该标准进行修订,要求单粒播玉米种子发芽率应高于93%<sup>[1]</sup>。随着我国农业科技水平的发展,主要农作物的种子质量合格率已连续多年稳定在98%以上。单粒播技术的推广,对玉米的活力和整齐度提出了更高的要求。

种业界及相关管理部门普遍认可种子活力及种子活力检测的重要性。大量研究证实,玉米种子冷浸发芽率与田间出苗率呈极显著相关<sup>[2~4]</sup>。时伟芳等、程莹等推荐选用相对稳定的逆境萌发率作为活力评价指标<sup>[5,6]</sup>。中国农业大学选取300多份材料在甘肃、辽宁、新疆等多个地点进行田间试验,确立玉米种子活力检测的冷浸发芽法(4℃/72 h),并作为农业部行业标准(NY/T 3766-2020)颁布实施<sup>[7]</sup>。山东省2021年底颁布的玉米种子活力测定的地方标准(DB37/T 4485-2021)也包括冷浸法<sup>[8]</sup>。冷浸发芽法完整的检测流程约需10 d,寻找可快速检测的指标来反映不同批次种子冷浸发芽率的高低,对于生产也具有重要的参考意义。前期研究表明,玉米种子中的龟裂纹对种子活力具有一定的影响<sup>[9,10]</sup>。种子叶绿素含量反映种子成熟度,与活力具有一定的相关性<sup>[11]</sup>。冯鹏飞发现,京科968种子的长度、宽度、千粒重和比重均与种子萌发后的苗长、苗重等生长量指标呈极显著相关<sup>[12]</sup>。

种子整齐度是影响精量播种效果、田间群体建成的重要因素<sup>[13,14]</sup>,种子整齐度评价主要针对粒型、尺寸、体积和粒重等进行。通过分级,将种子分成不同的粒型,可以提升气力式播种机的播种效果<sup>[15]</sup>,不同粒型或等级的种子也应选用不同的播种机类型<sup>[16]</sup>。国外种子子公司根据种子宽度和厚度将种子分为6个等级<sup>[17]</sup>,并根据用户的播种机类型提供对应分级的种子从而提高播种质量<sup>[18]</sup>。种子整齐度还会影响玉米的田间出苗速度和幼苗长势进而影响田间整齐度<sup>[19]</sup>,较高的田间整齐度,有利于后续机械化操作和最终产量的提升<sup>[20]</sup>。评价农作物农艺性状整齐度的方法主要包括变异系数法(CV法)、变异系数倒数法(CV倒数法)和整齐度系数法(CR法)<sup>[21]</sup>。种子精选和分级是提升种子整齐度的主要手段<sup>[22,23]</sup>。

京科968是北京市农林科学院玉米研究中心培育的玉米品种,具备高产、多抗、广适等优良性状,自2016年起,年种植面积均超过133万hm<sup>2</sup>,成为我国主导玉米品种之一,主要在甘肃省张掖地区进行制

种。本文以8家种子子公司2020年在张掖地区生产的京科968玉米种子为材料,比较其标准发芽率、净度、冷浸发芽率、种子尺寸、单粒体积和单粒重,明确不同批次之间的差异,并在此基础上,依据现有的快检技术,寻找能够用于京科968玉米种子活力的快速评价指标,为种子子公司加工和农户选购种子提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

京科968玉米种子分别由8家种子子公司生产,制种年份为2020年,每个公司1 kg玉米种子(表1)。8家种子子公司所采用的种子加工工艺流程基本相同,均为果穗自然干燥、机械脱粒、预清(6.5 mm圆孔筛)、风筛选、比重选,即精加工后未包衣的京科968玉米种子,随机编号为批次1~批次8。

表1 实验材料来源  
Table 1 Source of experimental materials

序号 No.	材料来源 Source of experimental materials
批次1	北京顺鑫农科种业科技有限公司
批次2	北京德农种业有限公司
批次3	张掖神舟绿鹏农业科技有限公司
批次4	中林集团张掖金象种业有限公司
批次5	张掖市金葵花种业有限责任公司
批次6	甘肃省张掖市金玉种业有限责任公司(现代)
批次7	甘肃省张掖市金玉种业有限责任公司(电玉)
批次8	张掖市多成农业有限公司

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 种子含水量、千粒重、净度测定

种子含水量采用PM8188种子水分快速仪进行测定,重复3次;千粒重测定采用百粒法(参考GB/T 3543.7-1995),重复3次,换算成10%标准含水量的千粒重;净度测定参考GB/T 3543.3-1995测定8个批次玉米种子的净度,重复3次。

#### 1.2.2 标准发芽实验

从每个种子批中随机选取完整子粒各150粒,参考农作物种子检验规程(GB/T 3543.4-1995)进行标准发芽检测,第7天记录发芽种子数。每个重复50粒,3次重复。

标准发芽率=(第7天发芽种子数/试验种子粒数)×100%。

#### 1.2.3 冷浸发芽实验

从每个种子批中随机选取完整子粒各150粒,

参考农业部行业标准(NY/T3676-2020),4℃冷浸处理3 d,之后取出进行正常发芽实验,记录第7天的发芽种子数,冷浸发芽率换算公式同1.2.2。每个重复50粒,3次重复。

#### 1.2.4 种子尺寸、颜色、纹理指标测定

从每个种子批中随机选取完整子粒各150粒,CCD扫描(清华紫光D6810型扫描仪),分辨率设为300 dpi,图像保存为BMP无损格式。采用种子表型全自动化提取系统(PhenoSeed,中国农业大学种子科学与技术研究中心与南京智农云芯大数据科技有限公司共同研发)提取种子尺寸、颜色和纹理指标。种子尺寸指标包括长度、宽度、长宽比、投影面积、周长、圆形度,颜色指标包括RGB、Lab、HSV、灰度平均值及各颜色指标的标准差,纹理指标包括灰度与RGB通道下的对比度(Contrast)、相异度(Dissimilarity)、同质性(Homogeneity)、能量(Energy)、相关性(Correlation)、角二阶矩(ASM)。

采用数显游标卡尺逐粒测量上述150粒种子的厚度。

#### 1.2.5 种子裂纹检测

从每个种子批中随机选取完整子粒150粒,采用灯箱法检测玉米种子裂纹情况。通过观察,将种子分为无裂纹种子、单裂纹种子、双裂纹种子和龟裂纹种子,计算裂纹率,即单+双+龟裂纹种子比例和龟裂纹率。

#### 1.2.6 种子单粒重、比重、单粒体积测定

采用电子密度天平法(舜宇恒平仪器FA1104J)测定8个批次玉米种子的单粒重、单粒比重,并换算成单粒体积。

单粒体积( $\text{cm}^3$ )=单粒重/单粒比重。

#### 1.2.7 种子叶绿素测定

各批次种子取10 g左右,用小型旋风磨(天津泰斯特FW100)研磨5 s,混匀,准确称取3 g,用FluoMini CF便携式叶绿素荧光仪(荷兰Sendot公司)检测其中的叶绿素含量,重复6次,求平均值。

#### 1.2.8 数据分析

采用Microsoft Excel 2016进行数据汇总,之后运用IBM SPSS Statistics 21进行方差分析、相关性分析、回归分析和作图。粒型分级运用Python 3.8.7进行模拟。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同玉米种子批千粒重、含水量、净度、标准发芽率间的差异

不同公司生产的京科968玉米种子的含水量、净度虽然存在显著差异,但含水量均低于13%,净度均高于99%,标准发芽率均超过95%,满足GB4404.1-2008中对于单粒播玉米种子质量的要求(表2)。不同公司生产的京科968玉米种子千粒重(10%标准含水量)存在显著差异,其中批次4种子千粒重最大,为325.63 g;批次6种子千粒重只有295.92 g,相差约10%。

表2 不同批次京科968玉米种子质量对比

Table 2 Comparison of seed quality among different seed lots of Jingke968

序号 No.	千粒重(g) 1 000-kernel weight	含水量(%) Moisture content	净度(%) Seed clarity	标准发芽率(%) Standard germination percentage
批次1	308.04±4.14 bcd	11.4±0.4 a	99.3±0.08 c	96.0±2.8 a
批次2	316.24±6.63 b	10.1±0.4 bc	99.9±0.03 a	98.0±0.0 a
批次3	301.43±6.12 de	10.2±0.3 b	99.5±0.26 abc	95.3±1.9 a
批次4	325.63±1.29 a	9.6±0.1 c	99.9±0.11 ab	97.3±2.5 a
批次5	305.89±3.99 cd	10.4±0.2 b	99.4±0.31 bc	96.0±1.6 a
批次6	295.92±2.42 e	9.6±0.1 c	99.6±0.20 abc	95.3±2.5 a
批次7	312.85±3.07 bc	10.6±0.0 b	99.8±0.06 abc	98.0±2.8 a
批次8	302.34±2.67 de	10.2±0.3 b	99.6±0.10 abc	97.3±0.9 a

注:小写字母表示0.05水平上的显著差异;千粒重为10%含水量下的千粒重。

Note: Lowercase letters indicate significant differences at the level of 0.05; 1 000-kernel weight at 10% moisture content.

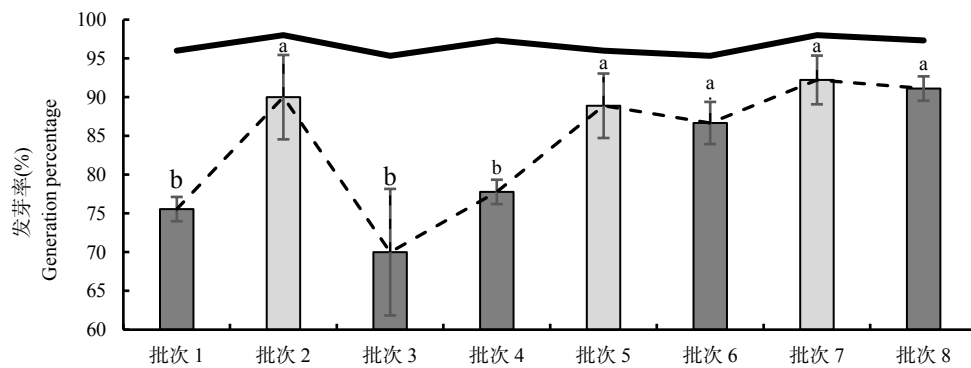
### 2.2 不同批次京科968玉米种子活力的差异

不同批次玉米种子标准发芽率和冷浸发芽率的对比见图1。不同公司生产的京科968玉米种子平均发芽率为96.7%,各批次间不存在显著差异,批次

间均值的标准差和变异系数仅为1.05%和1.09%。4℃冷浸3 d后,8个种子批发芽率全部下降至93%以下,批次1、批次3、批次4的发芽率下降至80%以下。平均发芽率下降至84.0%,其中批次1、批次3、

批次4、批次6和批次8的发芽率显著下降。冷浸处理后,不同种子批间的发芽率差异明显加大,批次间均值的标准差和变异系数分别增加到7.84%和

9.33%,批次1、批次3、批次4的冷浸发芽率显著低于批次2、批次5、批次7和批次8。



注:灰色实线代表标准发芽率;灰色虚线代表冷浸发芽率;黑色柱子表明冷浸发芽率显著低于标准发芽率(0.05水平);小写字母代表不同批次种子冷浸发芽率在0.05水平上的显著差异。

Note: The solid gray line represents the standard germination percentage, the dashed gray line represents the cold soaking germination percentage, the black column indicates that the cold soaking germination percentage is significantly lower than the standard germination percentage(0.05 level), and the lowercase letters represent the significant difference in the cold soaking germination percentage of different seed lots at 0.05 level.

图1 不同批次京科968玉米种子标准发芽率与冷浸发芽率的比较

Fig.1 Standard germination and cold soaking germination percentage of different seed lots of Jingke968

### 2.3 京科968玉米种子冷浸发芽能力的快检指标筛选

对每一批种子,均用PhenoSeed提取54个尺寸、颜色、纹理相关的机器视觉指标,将8个批次京科968玉米种子的冷浸发芽率与尺寸、种子颜色、纹理、单粒比重、裂纹率、龟裂纹率、叶绿素含量等指标进行相关性分析(表3)。结果表明,大部分指标与冷浸发芽率无显著相关性,只有裂纹率、龟裂纹率及部分纹理指标与冷浸发芽率显著相关(图2),其中,裂纹率、

龟裂纹率与冷浸发芽率显著负相关,相关系数分别为-0.807和-0.717,R\_同质性和B\_相异度、B\_同质性与冷浸发芽率显著相关,相关系数分别为0.713、-0.728、0.777。裂纹率、龟裂纹率之间存在显著相关,B\_同质性与其他几个指标之间存在显著相关,相关系数均在0.7以上。后续选用大量样本,有可能通过这几个指标建立判定玉米种子冷浸发芽能力的数学模型,为生产提供参考。

表3 不同公司京科968玉米种子颜色、纹理、单粒比重、裂纹率、龟裂纹率、叶绿素含量对比

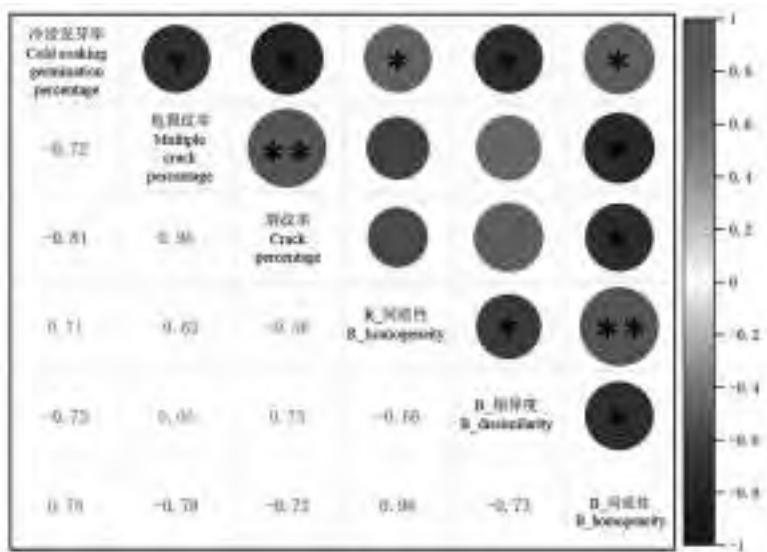
Table 3 Comparison of seed color, texture, single seed specific gravity, crack percentage, multiple crack percentage and chlorophyll content of Jingke 968 maize from different companies

序号 No.	R_同质性 R_homogeneity	B_相异度 B_dissimilarity	B_同质性 B_homogeneity	单粒比重(g/cm <sup>3</sup> ) Single seed specific gravity	叶绿素含量 (mg/g) Chlorophyll content	龟裂纹率(%) Multiple crack percentage	裂纹率(%) Crack percentage
批次 1	0.458±0.034 ab	5.568±0.647 ab	0.444±0.033 ab	1.241 1±0.056 2 bc	0.556±0.004 d	20.7±0.9 d	52.0±4.3 bc
批次 2	0.454±0.027 bc	5.285±0.487 d	0.443±0.027 ab	1.267 0±0.077 1 a	0.560±0.005 d	2.7±0.9 e	9.3±3.4 e
批次 3	0.442±0.032 d	5.652±0.560 a	0.425±0.031 c	1.252 4±0.070 6 abc	0.648±0.012 b	44.0±2.8 b	71.3±3.8 a
批次 4	0.449±0.031 cd	5.619±0.494 a	0.430±0.032 c	1.261 4±0.058 0 ab	0.636±0.007 b	50.7±3.8 a	68.7±6.6 a
批次 5	0.454±0.032 bc	5.472±0.538 bc	0.444±0.032 ab	1.251 4±0.063 4 abc	0.580±0.010 c	7.3±1.9 e	19.3±2.5 d
批次 6	0.453±0.031 bc	5.655±0.489 a	0.438±0.033 b	1.260 1±0.048 3 ab	0.678±0.007 a	28.7±3.8 c	52.7±2.5 b
批次 7	0.459±0.030 ab	5.438±0.544 c	0.446±0.032 a	1.246 0±0.055 0 abc	0.654±0.007 b	4.7±2.5 e	16.7±5.0 de
批次 8	0.461±0.031 a	5.302±0.546 d	0.449±0.032 a	1.235 2±0.063 4 c	0.598±0.014 c	26.7±4.1 cd	44.0±2.8 c

注:小写字母表示0.05水平上的显著差异;表中仅包含与冷浸发芽率极显著相关的机器视觉指标。

Note: Lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level; the table only contains the machine vision indicators that are significantly related to the cold soaking germination percentage.





注: \*、\*\*分别表示在0.05、0.01水平的显著相关。  
Note: \* and \*\* mean significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

图2 部分玉米种子活力快检指标与冷浸发芽率相关性

Fig.2 Correlation between some rapid-test indicators of maize seed vigor and cold soaking test germination percentage

表4 回归系数及模型

Table 4 Regression coefficient and model

模 型 Model		未标准化系数 Unstandardized coefficient		标准系数 Std. coefficient	t值 t value	P值 P value	VIF	R	R <sup>2</sup>	标准误差 Std. error
		B	标准误差 Std. error							
1	常 量	-4.100	3.269		-1.254	0.336		0.948	0.899	0.050
	裂纹率	-0.834	0.399	-2.383	-2.090	0.172	25.658			
	龟裂纹率	0.995	0.606	2.130	1.640	0.243	33.267			
	R_同质性	-4.349	19.210	-0.311	-0.226	0.842	37.150			
	B_同质性	13.110	18.154	1.316	0.722	0.545	65.482			
	B_相异度	0.230	0.272	0.409	0.845	0.487	4.630			
2	常 量	-4.241	2.653		-1.599	0.208		0.947	0.896	0.041
	裂纹率	-0.816	0.323	-2.331	-2.524	0.086	24.624			
	龟裂纹率	0.924	0.430	1.979	2.149	0.121	24.470			
	B_同质性	9.144	3.930	0.918	2.326	0.102	4.489			
	B_相异度	0.216	0.219	0.384	0.985	0.397	4.382			
3	常 量	-1.984	1.333		-1.488	0.211		0.929	0.862	0.041
	裂纹率	-0.594	0.231	-1.698	-2.569	0.062	12.696			
	龟裂纹率	0.668	0.341	1.429	1.957	0.122	15.500			
	B_同质性	6.632	2.981	0.666	2.225	0.090	2.601			
4	常 量	-0.859	1.505		-0.571	0.593		0.855	0.731	0.051
	裂纹率	-0.180	0.117	-0.515	-1.537	0.185	2.086			
	B_同质性	4.035	3.340	0.405	1.208	0.281	2.086			
5	常 量	0.958	0.040		23.999	0.000		0.807	0.652	0.053
	裂纹率	-0.283	0.084	-0.807	-3.352	0.015	1.000			

注: B为回归系数; *t*为回归系数的显著性检验; VIF为方差膨胀因子; *P*为显著性水平; *R*为回归方程的相关系数; *R*<sup>2</sup>为回归方程的决定系数。  
Note: B is regression coefficient; *t* is significance test of regression coefficient; VIF is variance inflation factor; *P* is significance probability level; *R* is correlation coefficient of regression equation; *R*<sup>2</sup> is decision coefficient of regression equation.

以冷浸发芽率为因变量,以上述5个与冷浸发芽率显著相关的指标为自变量进行多元线性回归分析,由于5个指标间具有一定的共线性,因此采用后退法进行回归分析,结果见表4。由于指标间共线性较强,模型1、2、3中均有部分指标VIF值大于10,模型4选用裂纹率及B<sub>1</sub>同质性为自变量,VIF值相对较低,但未达显著水平,导致模型有效性较低;当仅使用裂纹率作为自变量建立线性回归模型时(模型5),达显著水平, $R^2=0.652$ ,回归方程如式(1)。

$$y=(-0.283x+0.958)\times 100\%$$
 (1)

其中,y为冷浸发芽率;x为裂纹率。

2.4 不同公司生产的京科968玉米种子粒型分类情况

参考威斯康星州作物改良协会的标准<sup>[24]</sup>,将种

子根据粒型和大小分为6个等级:大圆(LR,宽度8.3~9.9 mm,厚度 $\geq 5.6$  mm)、大扁(LF,宽度8.3~9.9 mm,厚度 $<5.6$  mm)、中圆(MR,宽度7.1~8.3 mm,厚度 $\geq 5.2$  mm)、中扁(MF,宽度7.1~8.3 mm,厚度 $<5.2$  mm)、小圆(SR,宽度6.4~7.1 mm,厚度 $\geq 4.8$  mm)、小扁(SF,宽度6.4~7.1 mm,厚度 $<4.8$  mm)和淘汰子粒(RM,宽度 $\geq 9.9$  mm,厚度 $<6.4$  mm)。不同公司生产的京科968玉米种子中,不同粒型种子占比见表5。各种子批中,中圆粒的占比均为最高,平均占比为34.8%,其次为小圆(21.4%),中扁(18.0%)。其中批次2和批次4的中圆占比又最高,均为43.3%。批次1和批次5的淘汰子粒占比最多,为8.0%,批次4和批次7的淘汰子粒占比最少,为2.0%。

表5 不同公司京科968玉米种子不同玉米种子粒型占比表

Table 5 Proportion of different seed shapes of Jingke968 maize seeds of different companies %

序 号 No.	不同粒型种子占比 Percentage of different seed shapes						
	大圆	大扁	中圆	中扁	小圆	小扁	淘汰粒
	LR	LF	MR	MF	SR	SF	RM
批次1	9.3	6.0	33.3	12.0	28.7	2.7	8.0
批次2	20.0	6.0	43.3	12.0	12.0	2.7	4.0
批次3	5.3	6.7	32.0	19.3	24.7	6.7	5.3
批次4	8.7	8.0	43.3	18.7	17.3	2.0	2.0
批次5	9.3	6.0	28.7	20.7	23.3	4.0	8.0
批次6	5.3	4.7	28.0	19.3	26.7	9.3	6.7
批次7	5.3	10.0	29.3	28.7	18.7	6.0	2.0
批次8	12.7	5.3	40.0	13.3	20.0	2.7	6.0
均 值	9.5	6.6	34.8	18.0	21.4	4.5	5.3

2.5 不同公司生产的京科968玉米种子尺寸、粒重、单粒比重、体积的差异

不同公司生产的京科968玉米种子的尺寸、体积、单粒重和单粒比重的分布情况见图3。不同种子批集中分布的范围相对一致,种子长度主要集中在9.0~13.0 mm,宽度主要集中在6.0~9.0 mm,厚度集中分布在4.50~6.75 mm,单粒体积集中分布在0.18~0.30 cm<sup>3</sup>,单粒重集中分布在0.20~0.38 g,单粒比重集中分布在1.15~1.35 g/cm<sup>3</sup>。通过分布图可以发现,不同种子批种子宽度和单粒比重分布较为集中,与种子加工过程中普遍使用圆孔筛和比重选有关,其中单粒比重的种子批内变异系数仅为4.91%。

不同公司生产的京科968种子长度、宽度、厚度、单粒体积、单粒重均存在显著差异(表6)。8个种

子批在上述5个指标上批次间变异系数分别为3.35%、2.14%、3.40%、3.11%、2.98%,显著低于同一批次内的变异系数10.25%、10.29%、13.57%、15.00%、15.52%。批次6的长、宽、厚的平均变异系数最低,为9.40%,说明批次6的尺寸整齐度最高;批次4体积和粒重整齐度最高,变异系数分别为12.16%和11.65%。

现行种子质量标准中并没有对种子整齐度的规范和要求。本研究采用K-均值聚类的方式,根据种子长度、宽度、厚度、体积与粒重的变异系数,将8个种子批分为高整齐度和低整齐度两个类别,聚类结果见表7。批次4、批次5、批次6共3个种子批被分入高整齐度类别,推测其田间机械化单粒播种效果较佳;批次1、批次2、批次3、批次7、批次8共5个种子批被分入低整齐度类别。

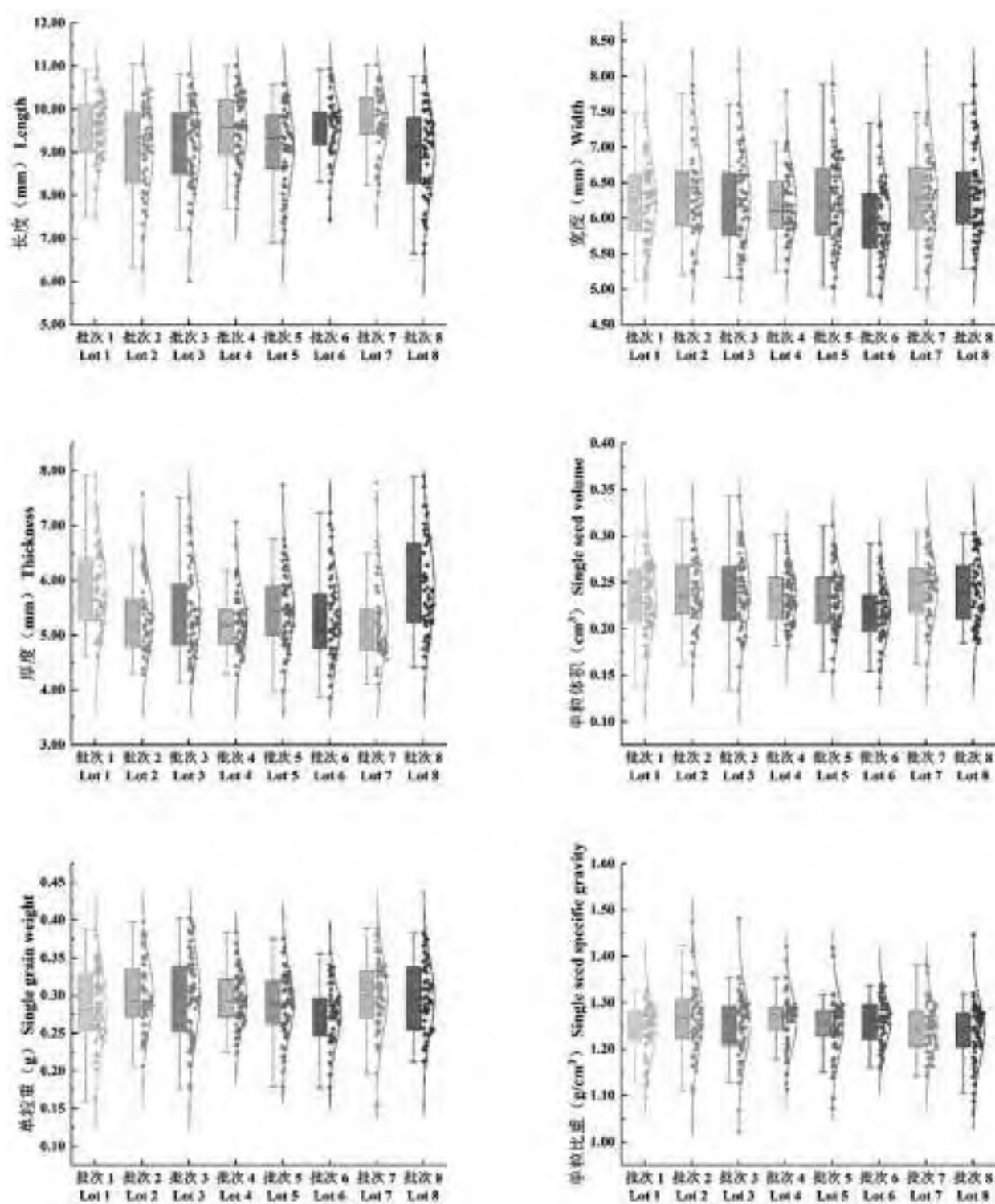


图3 不同批次京科968玉米种子长度、宽度、厚度、单粒体积、单粒重及比重分布图

Fig.3 Distribution of seed length, width, thickness, single grain weight, single seed volume and single of different batches of Jingke968 maize

表6 不同公司京科968玉米种子批整齐度对比  
Table 6 Comparison of maize seed uniformity of Jingke 968 from different companies

序 号 No.	长 度 Length		宽 度 Width		厚 度 Thickness		平均变异 系数(%) Average of CV	单粒体积 Single seed volume		单粒重 Single grain weight	
	平均值	变异系	平均值	变异系	平均值	变异系		平均值	变异系	平均值	变异系
	(mm)	数(%)	(mm)	数(%)	(mm)	数(%)		(cm <sup>3</sup> )	数(%)	(g)	数(%)
	Average	CV	Average	CV	Average	CV		Average	CV	Average	CV
批次 1	11.01±1.37 cde	12.48	7.43±0.84 b	11.32	5.80±0.77 a	13.27	12.36	0.231 1±0.039 4 a	17.07	0.282 7±0.051 7 bc	18.27
批次 2	10.75±1.08 e	10.07	7.79±0.81 a	10.35	5.82±0.86 a	14.81	11.74	0.238 2±0.035 8 a	15.02	0.301 0±0.046 3 a	15.37
批次 3	11.00±1.38 de	12.50	7.40±0.77 b	10.37	5.61±0.83 b	14.76	12.54	0.240 1±0.042 9 a	17.88	0.300 1±0.056 0 a	18.67
批次 4	11.27±1.07 bc	9.51	7.68±0.69 a	8.97	5.70±0.75 ab	13.24	10.57	0.234 4±0.028 5 a	12.16	0.296 5±0.034 5 ab	11.65
批次 5	11.09±1.28 cd	11.52	7.44±0.82 b	10.97	5.65±0.82 ab	14.43	12.31	0.233 2±0.033 1 a	14.20	0.290 2±0.040 9 abc	14.08
批次 6	11.50±0.81 b	7.04	7.30±0.71 b	9.73	5.31±0.61 c	11.44	9.40	0.217 9±0.030 3 b	13.89	0.275 5±0.037 7 c	13.69
批次 7	11.98±0.86 a	7.14	7.66±0.77 a	10.00	5.28±0.76 c	14.40	10.51	0.241 7±0.037 3 a	15.45	0.299 5±0.049 5 a	16.53
批次 8	10.84±1.27 de	11.74	7.66±0.81 a	10.63	5.69±0.70 ab	12.21	11.52	0.241 0±0.034 5 a	14.33	0.297 4±0.047 3 ab	15.89
平均值	11.18	10.25	7.55	10.29	5.61	13.57	11.37	0.234 7	15.00	0.293 7	15.52
变异系数(%)	3.35	—	2.14	—	3.40	—	—	3.11	—	2.98	—

注:小写字母表示0.05水平上的显著差异;单粒重为10%含水量单粒重。  
Note: Lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level; single grain weight at 10% moisture content.

表7 不同公司京科968玉米种子批整齐度聚类结果  
Table 7 Cluster results of seed batch uniformity of Jingke968 maize from different companies

类 别 Cluster	聚类中心 Cluster center					聚类结果 Cluster result
	长度变异系数	宽度变异系数	厚度变异系数	单粒体积	单粒重变异系数(%)	
	(%)	(%)	(%)	变异系数(%)	CV of single	
	CV of length	CV of width	CV of thickness	CV of single seed volume	grain weight	
高整齐度	9.36	9.89	13.03	13.42	13.14	批次4、批次5、批次6
低整齐度	10.79	10.53	13.89	15.95	16.95	批次1、批次2、批次3、 批次7、批次8

3 结论与讨论

不同公司生产加工的成品京科968玉米种子,在冷浸发芽率、种子整齐度等方面均存在着一定差异。本研究中,8家公司在同一年份同一地区生产的京科968种子的标准发芽率均达到单粒播的标准,冷浸发芽率在不同批次间存在着较大的差异。在玉米种子标准发芽率连续多年达标的基础上,提升种子逆境萌发能力即提升种子活力是制种公司提升竞争力的一个突破点。

通过逆境萌发实验来检测种子活力,耗时较长。利用能够快速无损检测的特征指标来表征种子活力,符合高质量种业快速发展的需求,也是当下种子活力研究的热点。本研究共发现5个与冷浸发芽率显著相关的指标,其中,裂纹率、龟裂纹率均与冷

浸发芽率显著负相关,相关系数分别为-0.807和-0.717,在前期研究中,也证实种子的龟裂纹会影响玉米种子耐老化能力<sup>[9,10]</sup>;3个与冷浸发芽率显著相关的纹理指标,相关系数均在0.7以上,其中B\_同质性与种子裂纹率和龟裂纹率均呈显著负相关,B\_相异度与种子裂纹率呈显著正相关。张丹阳对玉米种子耐机械损伤能力研究中,同时采用R通道和B通道下的同质性来预测玉米种子耐机械损伤能力,3个指标均与种子裂纹存在一定的关联性,推测可能是由于其与种子裂纹情况的相关性导致这3个指标与种子冷浸发芽率呈显著相关<sup>[10]</sup>。以上述5个显著相关指标建立玉米种子冷浸发芽率线性回归模型时,由于指标间存在较强多重共线性,并且样本数量较少,导致多指标的回归模型可靠性较低,当仅利用裂纹率构建的线性回归模型时,模型可达显著水平,



决定系数0.652,初步表明裂纹率可用于玉米种子冷浸萌发能力的预测,后续将采用更多的样本进行验证和快检指标的进一步筛选。

传统的应力裂纹检测方法为灯箱法,较为费时费力。已有的研究表明,采用机器视觉技术可实现玉米应力裂纹的快速检测。李佳利用机器视觉技术、图像增强技术构建级联检测模型,对有无裂纹玉米种子的分类准确率可达92.7%<sup>[25]</sup>。张宇卓等利用多种卷积神经网络对玉米种子内部裂纹进行识别,其中ResNet18模型对有无裂纹种子的检测准确率均在95%以上<sup>[26]</sup>。孙新伟等利用图片处理技术结合双通道PCNN模型对玉米种子内部裂纹进行识别,检测准确率可达97%<sup>[27]</sup>。上述研究表明,裂纹率作为玉米种子冷浸发芽能力的快检指标是可行的。

本研究对8个种子批的粒型进行分类并统计不同粒型占比,8个种子批中没有任何一种粒型种子占比超过85%<sup>[23]</sup>,不同公司生产的京科968玉米种子批在尺寸、体积和粒重上均存在显著性差异,这些差异会影响到田间机械化精量播种效果。我国玉米种子质量已经连续多年达标,本文所采用的8份京科968玉米种子标准发芽率均在95%以上,超过93%的单粒播国家标准。对于制种公司来说,在种子生产、收获及加工过程中,采用更安全的干燥方式、尽量减少机械损伤,从而降低种子破损及裂纹,可有效提升种子活力,提升公司的竞争力。对于农户而言,购买不同公司生产的同一品种玉米种子时,在发芽率基本一致的情况下,应尽可能选择子粒大小均匀一致裂纹少的种子。

#### 参考文献:

- [1] 粮食作物种子 第一部分:禾谷类:GB 4404.1-2008[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2008.
- [2] 蒋作甫,崔志华. 玉米种子活力的几种测试方法的比较[J]. 北京农学院学报, 1995(1):1-7.  
JIANG Z P, CUI Z H. Comparison of several test method of maize seed vigour[J]. Journal of Beijing Agricultural College, 1995, 10(1): 1-7. (in Chinese)
- [3] 高婷婷,李 洋,王秀芬,等. 基于冷浸法测定玉米种子活力的研究[J]. 分子植物育种,2020,18(23):7879-7884.  
GAO T T, LI Y, WANG X F, et al. Determination of maize seed vigor by cold- maceration[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(23): 7879-7884. (in Chinese)
- [4] 李 穆,毕洪波,卢 实,等. 60份玉米自交系种子的耐老化鉴定[J]. 玉米科学,2021,29(3):23-28.  
LI M, BI H B, LU S, et al. Identification of seed aging resistance of sixty maize inbred lines[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(3): 23-28. (in Chinese)
- [5] 时伟芳,叶凤林,李奕瑶,等. 小麦种子活力检测相关指标稳定性的研究[J]. 中国种业,2014(11):47-49.  
SHI W F, YE F L, LI Y Y, et al. Study on the stability of related indexes for wheat seed vigor detection[J]. China Seed Industry, 2014 (11): 47-49. (in Chinese)
- [6] 程 莹,李浩卓,张婷婷,等. 喷淋发芽箱的设计、制作及喷淋发芽检测方法的确定[J]. 中国农业大学学报,2020,25(12):1-8.  
CHENG Y, LI H Z, ZHANG T T, et al. Design and production of spraying germination box and determination of spraying germination test method[J]. Journal of China Agricultural University, 2020, 25 (12): 1-8. (in Chinese)
- [7] 玉米种子活力测定 冷浸发芽法:NY/T 3766-2020[S]. 中华人民共和国农业农村部,2020.
- [8] 玉米种子活力测定 加速老化法、抗冷法、冷浸法、破裂法:DB37/T 4485-2021[S]. 山东省市场监督管理局,2021.
- [9] 李明刘. 耐加工机械损伤玉米品种的子粒表型特性筛选研究[D]. 北京:中国农业大学,2019.
- [10] 张丹阳. 耐机械加工损伤玉米种子物理特性筛选及建模研究[D]. 北京:中国农业大学,2020.
- [11] 瞿志杰,贾良权,祁享年,等. 种子活力无损检测方法研究进展[J]. 浙江农林大学学报,2020,37(2):382-390.  
QU Z J, JIA L Q, QI H N, et al. Research advances in non-destructive detection methods of seed vigor[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2020, 37(2): 382-390. (in Chinese)
- [12] 冯鹏飞. 品种特性及机械加工对京科968玉米种子活力影响的研究[D]. 北京:中国农业大学,2016.
- [13] 滕开琼,张 珍,戴 钢,等. 玉米单粒播种技术质量标准的探讨[J]. 河南农业, 2012(23):39.  
TENG K Q, ZHANG Z, DAI G, et al. Discussion on the quality standard of corn single seeding technology[J]. Henan Agriculture, 2012(23): 39. (in Chinese)
- [14] 杨京京,陈江鲁,谢瑞芝,等. 玉米种子粒重差异对相关发芽指标整齐度的影响[J]. 作物杂志,2018(3):180-184.  
YANG J J, CHEN J L, XIE R Z, et al. Effects of seed weight difference on the evenness of related germination indexes in maize[J]. Crops, 2018(3): 180-184. (in Chinese)
- [15] 刘 佳,崔 涛,张东兴,等. 玉米种子分级处理对气力式精量排种器播种效果的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(9):109-113.  
LIU J, CUI T, ZHANG D X, et al. Effects of maize seed grading on sowing quality by pneumatic precision seed--metering device[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 109-113. (in Chinese)
- [16] 孙士明,那晓雁,靳晓燕,等. 不同形态玉米种子分级单粒播种性能试验研究[J]. 农机化研究,2015,37(7):171-175.  
SUN S M, NA X Y, JIN X Y, et al. Single grain sowing performance experimental study on classification of different forms of maize seed [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(7): 171-175. (in Chinese)
- [17] GRAVEN L M, GARTER P R. Seed size/shape and tillage system effect on corn growth and grain yield[J]. Prod Agric., 1990, 3(4): 445-452.
- [18] 赵 明,李少昆,董树亭,等. 美国玉米生产关键技术与中国现代玉米生产发展的思考——赴美国考察报告[J]. 作物杂志, 2011(2):1-3.

- ZHAO M, LI S K, DONG S T, et al. The key technology of American maize production and the development of modern maize production in China: A study report[J]. *Crops*, 2011(2): 1–3. (in Chinese)
- [19] 黄双全, 刘桂霞, 韩建国. 种子大小和播种深度对种苗建植的影响[J]. *草业科学*, 2007(6): 44–49.
- HUANG S Q, LIU G X, HAN J G. Effect of seed mass and sowing depth on seedling establishment[J]. *Pratacultural Science*, 2007(6): 44–49. (in Chinese)
- [20] 王俊生. 玉米整齐度与产量性状的关系研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2008(5): 47–48.
- WANG J S. Study on the relationship between uniformity and yield character of maize[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2008(5): 47–48. (in Chinese)
- [21] 张焕裕. 作物农艺性状整齐度的研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2005(4): 33–36.
- ZHANG H Y. The study progress of the regularity degree of crop agronomic traits[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2005(4): 33–36. (in Chinese)
- [22] 陈海军, 冯志琴, 孙文浩. 玉米种子加工工艺与设备配置研究[J]. *中国种业*, 2010(11): 22–24.
- CHEN H J, FENG Z Q, SUN W H. Research on corn seed processing technology and equipment configuration [J]. *China Seed Industry*, 2010(11): 22–24. (in Chinese)
- [23] 王丽娟, 任嘉宇, 温海江, 等. 谈玉米种子的尺寸分级[J]. *农机使用与维修*, 2016(8): 91–92.
- WANG L J, REN J Y, WEN H J, et al. Talking about size grading of maize seeds[J]. *Agricultural Machinery Use and Maintenance*, 2016(8): 91–92. (in Chinese)
- [24] Wisconsin Crop Improvement Association. Wisconsin seed certification standard[S]. 2013.
- [25] LI J, ZHAO B, WU J C, et al. Stress–Crack detection in maize kernels based on machine vision[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022, 194(2022): 106795.
- [26] 张宇卓, 王德成, 方宪法, 等. 基于CNN的玉米种子内部裂纹图像检测系统研究[J]. *农业机械学报*, 2022, 53(5): 309–315.
- ZHANG Y Z, WANG D C, FANG X F, et al. Research on image detection system of corn seed internal crack based on CNN[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, 53(5): 309–315. (in Chinese)
- [27] 张新伟, 易克传, 孙业荣, 等. 基于双通道PCNN的玉米种子机械裂纹检测方法[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 48(1): 103–108.
- ZHANG X W, YI K C, SUN Y R, et al. Mechanical crack detection method of corn seeds based on dual channel PCNN[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2022, 48(1): 103–108. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)