

# 甘肃河西制种区不同成熟期玉米杂交种 贮藏期种子活力变化

王红梅<sup>1</sup>, 樊廷录<sup>1,2</sup>, 王淑英<sup>2</sup>, 杨 珍<sup>3</sup>

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070;  
3. 武威市农业科学院节水农业研究所, 甘肃 武威 733000)

**摘要:** 选择先玉 335、郑单 958 和吉祥 1 号三个杂交种制种田, 于授粉后 32 d 每隔 5 d 采收果穗直到授粉后 72 d, 测定种子电导率、标准发芽率和冷浸发芽率, 次年测定田间出苗率以及上述指标, 对比分析不同收获期种子在贮藏过程中的变化及其贮藏特性。研究表明, 随着收获期的推迟, 玉米杂交种种子贮藏后标准发芽率和冷浸发芽率降幅减小, 电导率的增幅也减小, 并且收获后期种子的贮藏性高于前期收获的种子。在授粉后 32~47 d、47~62 d、62~72 d 采收种子的标准发芽率平均降低 6.90%、4.99%、4.48%, 前期发芽率的降低速率为中后期的 3.75 倍; 冷浸发芽率依次降低 9.70%、13.33%、10.78%, 降低幅度明显高于标准发芽率, 说明低温冷害后的贮藏性降低。对于不同基因型的玉米杂交种种子, 其贮藏后标准发芽率、冷浸发芽率降低程度也不同, 先玉 335 分别降低 2% 和 6.8%, 吉祥 1 号分别降低 3.5% 和 6.9%, 郑单 958 降低 3.7% 和 15%, 电导率却依次增大, 分别为  $0.46 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (先玉 335)、 $0.56 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (吉祥 1 号)、 $0.49 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (郑单 958), 说明贮藏 10 个月后郑单 958 种子活力衰退幅度最大, 贮藏性最差, 其次为吉祥 1 号, 先玉 335 最小, 而在活力衰退最小范围内先玉 335 的适宜收获期为授粉后 47~57 d, 吉祥 1 号为授粉后 52~57 d, 郑单 958 为授粉后 57~62 d, 为获得高活力种子提供理论依据。

**关键词:** 玉米杂交种种子; 收获期; 种子活力; 种子贮藏期; 发芽率

**中图分类号:** S503.1; S513 **文献标志码:** A

## Changes of seed vigor of maize hybrid at different seed maturity stages during storage period in Hexi seed production area

WANG Hong-mei<sup>1</sup>, FAN Ting-lu<sup>1,2</sup>, WANG Shu-ying<sup>2</sup>, YANG Zhen<sup>3</sup>

(1. Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Dryland Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Water-Saving Agriculture Institute, Wuwei Academy of Agriculture Sciences, Wuwei, Gansu 733000, China)

**Abstract:** Three hybrid of farming (XY335, ZD958 and JX1) were chosen in this study, maize seeds were obtained at 5 days intervals during grain filling period from 32 to 72 days after pollination to test standard electrical conductivity – EC (three 50 – seed samples, 24 hours inhibition at 25°C), germination – SG (7 days at 25°C), and cold test – CT (3 days at 6°C). Field emergency of the maize seeds was tested to analyze the storage characteristics and changes between SG, CT and EC of different harvest periods and different genotypes in the process of storage in May of 2014 and once again in Lab in October of 2014. The results of these experiments show that the degree of decreasing in SG and CT of Maize hybrid seeds with the delay of harvest stored after 10 months reduced and the degree of increasing in EC also reduced but storage characteristics was increasing. The SG respectively declined 6.9%, 4.99% and 4.48% at 32~47, 47~62, and 62~72 DAP (days after pollination), the decreasing rate of 32~47 DAP is 3.75 times of 62~72 DAP. Moreover, CT reduced 9.7%, 13.33% and 10.78% and the degree of decreasing is obviously higher than SG, which shows that low temperature apparently affected storage characteristics. For maize hybrid seeds in different genotypes, SG and CT after 10 months storage differently reduced, XY335 reduced 2%, and 6.8%, JX1 reduced 3.5% and 6.9%,

收稿日期: 2016-01-25

基金项目: 农业部公益类行业(农业)科研专项(201303002); 国家玉米产业技术体系兰州综合试验站(CARS-02-60)

作者简介: 王红梅(1989—), 女, 甘肃武威人, 在读研究生, 研究方向为种子生理与生态。E-mail: 384695467@qq.com。

通信作者: 樊廷录(1965—), 男, 甘肃临洮人, 博士生导师, 研究员, 主要从事节水农业研究。E-mail: fantinglu3394@163.com。

and ZD958 reduced 3.7% and 15%, but the increases of EC are  $0.46 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  in XY335,  $0.56 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  in JX1, and  $0.49 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  in ZD958, respectively. Our results indicated that the degree of recession of ZD958 after 10 months storage is the biggest and the storage characteristics are poorer than those of JX1 and XY335, and XY335 is the last one. In the minimum range of vitality recession, the appropriate harvesting dates are 47 ~ 57 DAP of XY335, 52 ~ 57 DAP of JX1, and 57 ~ 62 DAP of ZD958, respectively, which can provide references for high vigor of seed.

**Keywords:** maize hybrid seeds; harvesting date; seed vigor; seed storage; seed standard germination

种子是最基本的生产资料,其质量的高低直接关系到农业生产的丰歉,其中种子活力又是评定种子质量的重要依据<sup>[1]</sup>。种子活力<sup>[2]</sup>是一个综合性概念,不仅包括发芽力,而且涉及田间成苗、植株生长状况和最终产量。即使能发芽的种子,活力也有高低之分,主要体现在种子发芽和幼苗生长的速率、不良条件下的出苗能力、收获后的耐贮性,特别是发芽能力的保持<sup>[3]</sup>。因此,进一步了解不同成熟期玉米杂交种贮藏期间种子活力的研究,以及贮藏前后不同品种种子活力的变化,可为获得高活力种子和企业需求提供理论依据和物质保障。

种子老化<sup>[4-5]</sup>指在种子贮藏过程中,由于自身的生理生化代谢,种子内部发生了一系列的变化,形态结构与功能受到损伤,发芽力、田间出苗率、植株的生长性能下降,特别是贮藏能力降低,对种子的产量和品质产生严重的影响<sup>[6-9]</sup>。因而刘旭欢<sup>[10]</sup>等研究不同老化时间和收获期对小麦种子活力的影响,表明不同收获期下从老化第 4 d 开始种子的发芽率降低,到第 8 d 发芽率降低至 60.33%;姜文<sup>[11]</sup>等研究小麦种子活力与酶及贮藏蛋白的关系,表明不同活力测定方法所得小麦种子活力不完全一致,有些指标所反映的活力水平差异较大。其次影响种子活力的因素较多,如种子遗传因素、种子成熟度、种子机械损伤及贮藏条件等<sup>[8]</sup>。孙群<sup>[12]</sup>等对种子活力的生理和遗传机理进行研究,表明与种子活力有关的 QTL 位点的数量、在染色体上的位置、遗传效应及其与环境互作效应等,与植物种类和种子活力性状指标有关,遗传作用特点不尽相同;刘军<sup>[13]</sup>等对种子活力与蛋白质关系进行研究。本试验通过对标准发芽试验、冷浸发芽试验、电导率和出苗率的测定,研究不同成熟度和不同品种玉米种子在贮藏前后的活力变化,比较不同成熟度和不同品种间玉米种子的活力差异,以及不同收获期种子的贮藏性,探讨所选材料在贮藏后活力衰退最小范围内的适宜收获期,以期为生产高质量的种子提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设计

试验 2013 年在甘肃武威和 2014 年在兰州进

行。武威试验区海拔 1 450 m,年均气温 7.7℃,年均降水 100 mm,年蒸发量 2 020 mm,无霜期 150 d,日照时数 2 873.4 h,属于大陆性干旱绿洲灌区。供试材料为玉米杂交种先玉 335(XY335)的父母本(母:PH6WC,父:PH4CV)、吉祥 1 号(JX1)的父母本(母:武 9086,父:昌 7-2)和郑单 958(ZD958)的父母本(母:郑 58,父:昌 7-2)。2013 年武威试验 4 月 10 日覆膜,4 月 20 日播种,父本:母本种植比例为 1:4,行距 33 cm,株距 24 cm。种植密度母本 100 500 株·hm<sup>-2</sup>、父本 25 125 株·hm<sup>-2</sup>。三次重复,完全随机排列,小区面积 200 m<sup>2</sup>(40 m × 5 m),杂交种之间种植高粱作为隔离带。母本雌穗吐丝前果穗全部套袋、抽掉雄穗(7 月 14 日),防止母本自交,提高种子纯度。在雌穗吐丝 2.5 cm 时,每个品种选取株型基本一致、健壮无病、具有代表性的母本植株 2 000 株,取掉果穗套袋、挂牌注明母本授粉日期,雄穗散粉结束后,砍去父本(8 月 5 日),以利母本通风透光。母本授粉 32 d 后开始采收果穗,每 3 ~ 5 d 采收一次,直至成熟。每个品种带苞叶采收大小均匀一致的果穗,运到实验室剥除苞叶,测定相关指标。每个品种每次采收果穗籽粒风干脱粒后为 1 份材料,供实验室进行种子活力参数测定以及在 4℃低温种子库贮藏 10 个月后兰州进行田间出苗率和实验室种子活力参数再次测定。兰州试验区海拔 1 530 m,年平均气温 9.6℃,最低气温 - 25℃,平均年降水量 329 mm,降水主要集中在 8—9 月,≥ 10℃年活动积温 3 242℃,年平均日照时数 2 634 h,无霜期 195 d,属半干燥温暖气候。2014 年兰州田间出苗率试验 4 月 6—7 日整地起垄覆膜,4 月 17 日播种,试验为单垄沟播,行长 4 m,行距 50 cm、株距 20 cm,为确保早期采收种子试验的准确性,每穴统一播种 4 粒,每重复 40 穴,3 次重复,随机区组设计,5 月 15 日统计苗数。初期在 2013 年 10 月对收获后的 3 个品种(先玉 335、吉祥 1 号、郑单 958)各 9 个不同收获期的玉米杂交种种子进行电导率、标准发芽和冷浸发芽实验测定,在 4℃低温种子库贮藏 10 个月后(2014 年 8 月)再次测定种子的各活力指标。

武威试验地土壤为灌漠土,沙壤,机井灌溉。兰

州土壤为灌淤土,土质疏松,试验地 0~20 cm 土壤有机质含量 1.1%,全氮含量 0.09%,全磷含量 0.06%,pH 值 8.0。

## 1.2 方法及测定指标

1.2.1 种子出苗率 每份材料选取无破损风干种子播种,每份材料种 3 行,行长 4 m,行距 50 cm,株距 20 cm,每行 21 穴,每穴 4 粒。4 月 6~7 日整地、普通农用地膜全地面平覆,4 月 17 日播种,4 月 25 日出苗,5 月 15 日统计苗数,计算出苗率。出苗率 = 苗数/播种籽粒总数 × 100%。

1.2.2 标准发芽率测定 将发芽纸在 121℃ 下灭菌 30 min,每个采收期数 200 粒无损伤、大小均匀的种子,用 1.0% 次氯酸钠消毒 4 min,冲洗至无味。有机玻璃计数模具(有 50 个孔)下铺 2 张发芽纸,每孔放 1 粒消毒好的种子,摆放完 50 粒种子后拿掉计数模具,上铺 1 张发芽纸,加入适量蒸馏水使种子附着在发芽纸上,将发芽纸疏松地卷起,两端整平,用橡皮筋扎住,竖直装入自封袋内(保证有空气,防止期间种子因缺氧而发霉),重复 3 次,然后放入恒温光照培养箱,在 25℃ 条件下发芽 7 d 然后统计发芽数,计算发芽率。发芽率 = 正常发芽种子数/供试种子总数 × 100%。

1.2.3 抗冷性测定 每个采收期数 200 粒无破损大小均匀的种子放入烧杯中,加蒸馏水至淹没种子,在 6℃ 培养箱中浸泡 3 d 后取出,终止冷害作用,再用自来水冲洗并浸泡几分钟,然后进行标准发芽实验,7 d 后统计发芽数,计算发芽率。

1.2.4 种子电导率测定 每个采收期数取无破损、大小均匀种子 50 粒,3 次重复,再用去离子水冲洗 3 次,用滤纸吸干表面水分,分别装入 500 mL 烧杯中,加入 250 mL 去离子水,10 min 钟后用 DDS-12A 电导仪测定初始电导率,然后用保鲜膜将烧杯封口,25℃ 下静置 24 h,测定浸出液和对照蒸馏水的电导率。种子电导率(EC) = (蒸馏水浸泡种子 24 h 后浸出液电导率 - 种子刚加入蒸馏水后的初始电导率)/样品重量。

## 1.3 数据统计与分析

用 Excel 2010 对数据进行整理,用 SPSS 16.0 统计软件进行统计与分析,以两因素方差分析和 SSR 新复极差法在 0.05 和 0.01 概率水平确定各平均值间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同收获期玉米杂交种种子贮藏前后活力变化

#### 2.1.1 贮藏前后种子标准发芽率的变化 贮藏 10

个月后,9 个采收期(DAP)种子的标准发芽率都低于贮藏前(表 1),但不论贮藏前后,前期收获种子的标准发芽率降低幅度大于中后期收获的种子,并且在授粉 32~42 d 采收的各期种子标准发芽率间差异显著,授粉 42 d 后却无显著性差异,说明授粉后 42 d 之前种子虽具有一定的发芽率,但活力不高不适宜种子的采收;在授粉后 32~47 d、47~62 d、62~72 d 采收的种子,标准发芽率平均降低 6.9%、4.99%、4.48%,前期种子标准发芽率的降低速率是后期种子的 3.75 倍,说明后期种子的活力基本趋于稳定,耐贮性好,此时适宜的收获期为授粉后 57~60 d。

2.1.2 贮藏前后种子冷浸发芽率的变化 贮藏前后不同收获期种子冷浸发芽率的变化趋势与标准发芽率基本一致,但冷浸发芽率的降低幅度更大。授粉后 32 d,贮藏前后冷浸发芽率达到最低,分别为 16.73% 和 14.40%,明显地低于标准发芽率 44.53% 和 38.11%;授粉后 52 d,冷浸发芽率达到最大,分别为 90.57% 和 76.84%,仍低于标准发芽率并且降低速率是标准发芽率的 2.8 倍,另外贮藏性降低,发芽率达到最大时的采收期也提前,为授粉后 52~55 d,说明低温冷害严重影响种子的活力。

2.1.3 贮藏前后种子电导率的变化 贮藏后各采收期种子的电导率都高于贮藏前的,但贮藏前后电导率的变化趋势一致,先急剧降低后趋于稳定。由表 1 可知,前期收获种子的电导率增幅大于中后期收获的种子,授粉后 32~47 d 采收的种子电导率平均升高  $1.11 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ,47~62 d 平均升高  $0.72 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ,62~72 d 平均升高  $0.56 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ,另外,在授粉后 32 d 采收的种子电导率达到极显著,在授粉 37 d 差异显著,授粉 42 d 后无显著性差异,说明后期收获的种子活力趋于稳定,耐贮性好。

### 2.2 不同基因型玉米杂交种种子贮藏前后活力

2.2.1 贮藏前后种子标准发芽率的变化 各品种贮藏前后种子标准发芽率的变化趋势一致,但贮藏前种子的标准发芽率高于贮藏后。由图 1 可知,先玉 335 贮藏前后在授粉 32~37 d 标准发芽率几乎没差别,并且明显高于郑单 958 和吉祥 1 号,而郑单 958 在授粉后 32 d 发芽率为 29.3%,明显低于贮藏前的 44.2%,降低 14.9%;随着收获期的延后,3 个杂交种的发芽率也急剧增加,其中先玉 335 贮藏前后在授粉后 47 d 同时达到最大,分别为 97.3% 和 95.3%,明显高于吉祥 1 号 92.9%(贮藏前)和 86%(贮藏后)以及郑单 958 95%(贮藏前)和 91.3%(贮藏后)。

藏后),并且发芽率达到最大时的收获期也比后两者提前;在授粉后 52~72 d 先玉 335 趋于稳定,郑单 958 和吉祥 1 号出现波动。说明对于不同品种,不同收获期对其发芽率的影响不同,先玉 335 在整个收获期中发芽率高并且耐贮藏,郑单 958 虽在收获后期发芽率高于吉祥 1 号但贮藏性低于吉祥 1 号,因此,要根据品种选择适宜的收获期,使其种子活力最大。

2.2.2 贮藏前后种子冷浸发芽率的变化 由图 2 可知,不同品种贮藏前后差异较大。先玉 335 贮藏前后在授粉 32 d 差别不明显,分别为 36.9% 和 30.6%,但明显低于标准发芽率,在授粉后 57 d 达

到最大,分别为 95.5% (贮藏前)和 88.7% (贮藏后),低于先玉 335 标准发芽率值并且发芽率达到最大时的收获期延后 10 d 左右;吉祥 1 号贮藏后冷浸发芽率低于贮藏前,但差别不明显,与贮藏前后标准发芽率一致比较稳定,并且达到最大时的采收期也与标准发芽率一致,为授粉后 52 d;对于郑单 958,贮藏前后在授粉 32~37 d 之间差别不明显,在 42~72 d 之间相差幅度 6%~26%,波动大不稳定,贮藏前在授粉后 52 d 发芽率值达到最大,为 91%,贮藏后授粉 57 d 达到最大值为 76%,说明不同品种种子的抗低温能力不同,经过低温冷害后的贮藏性也不同,其中吉祥 1 号低温冷害后的贮藏性最佳。

表 1 授粉后天数对玉米种子标准发芽试验、抗冷测定和电导率的影响

Table 1 Days after pollination(DAP) effect on seed vigor of maize by standard rate test, cold test and electrical conductivity - EC

处理 Treatment	贮藏前的种子 Before stored seeds			贮藏后的种子 After stored seeds		
	电导率 EC	冷浸发芽率 Cold - test	标准发芽率 Standard rate	电导率 EC	冷浸发芽率 Cold - test	标准发芽率 Standard rate
	$/(\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$	/%	/%	$/(\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$	/%	/%
DAP1	10.72aA	16.73cB	44.53cB	12.12aA	14.40cB	38.11cB
DAP2	6.95bB	48.93bA	73.77bA	8.35bB	40.32bAB	61.78bAB
DAP3	4.69bcBC	69.90abA	79.00abA	5.63cC	57.87abA	74.00abA
DAP4	3.97cdBC	77.70abA	85.43abA	4.68cdCD	61.86abA	81.24aA
DAP5	2.55cdC	90.57aA	93.60aA	3.25deCD	76.84aA	88.53aA
DAP6	2.29cdC	86.00aA	94.97aA	3.08deCD	75.33aA	90.11aA
DAP7	2.36cdC	79.50abA	90.50abA	3.03deCD	66.44aA	84.68aA
DAP8	2.32cdC	74.23abA	89.53abA	2.79deCD	64.77abA	87.51aA
DAP9	1.97dC	80.73aA	94.00aA	2.51eD	70.89aA	88.40aA

注:表中每一处理对应数据为 3 个供试品种的平均值,同列数据后对应的大、小写字母分别表示在  $\alpha = 5\%$ 、 $1\%$  水平比较的差异显著性。

Note: Data in the table each treatment is average for three hybrid maize, different capital and lowercase letters in the same column indicates the  $\alpha = 5\%$  and  $\alpha = 1\%$  level differences significant, respectively.

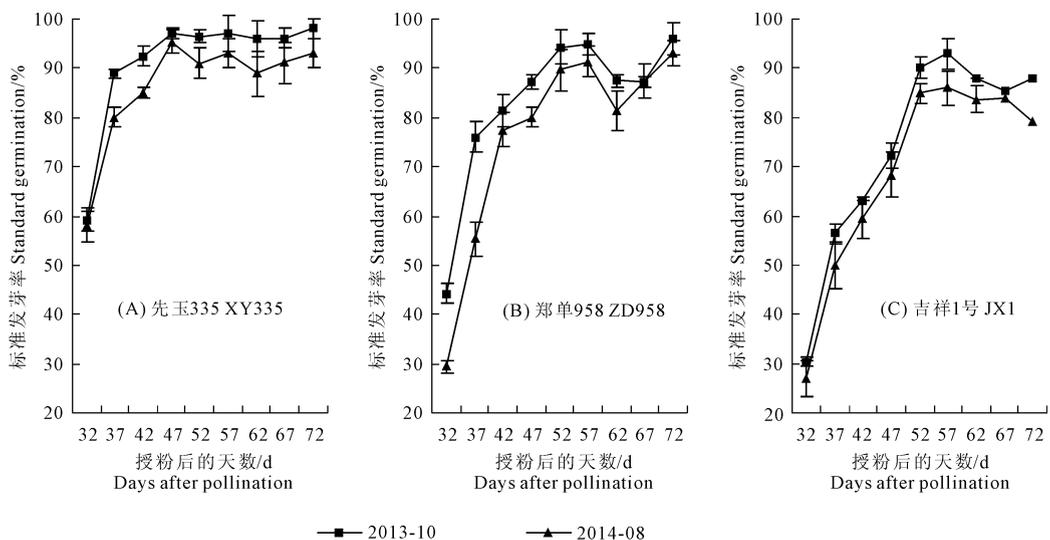


图 1 不同收获期种子贮藏前后标准发芽率的变化

Fig.1 Standard rate changes of different harvesting dates after 10 months storage

2.2.3 不同基因型玉米杂交种种子贮藏前后电导率的变化 由图3可知,贮藏后电导率增大并且各品种变化趋势一致,在授粉后32~52 d之间急剧下降随后趋于稳定,3个杂交种贮藏前后在授粉32 d电导率都达到最大,其中郑单958是先玉335的1.59倍,是吉祥1号的1.29倍,因此可判断种子活力大小顺序为先玉335 > 吉祥1号 > 郑单958,与冷浸发芽率一致。

2.3 不同采收期玉米杂交种种子田间实际出苗率

出苗率随着授粉后天数的增加呈上升的趋势(图4)。在授粉后32 d,出苗率最低,其中先玉335是郑单958的11.5倍,是吉祥1号的3.5倍;在37~52 d,平均出苗率62.2%(先玉335) > 47.73%(吉祥1号) > 46.98%(郑单958),其中只有先玉335出苗率超过60%;在57 d达到最大分别为95.91%(先玉335)、95.81%(郑单958)和80.06%(吉祥1号),

其中郑单958增大程度最大为48.83%;在62~72 d,先玉335出苗率93.57%、吉祥1号的为77.53%、郑单958 82.6%,前两者与最大值差距小,郑单958波动大。另外,先玉335各时期出苗率始终高于另外2个品种,郑单958在授粉后52 d之前出苗率低于吉祥1号,在此之后高于吉祥1号,说明出苗时的低温环境对郑单958的活力影响最大,所以种子活力大小顺序为:先玉335 > 吉祥1号 > 郑单958,与冷浸发芽率和电导率一致。

3 讨论与结论

本研究中种子的冷浸发芽率和出苗率相关性极显著,在授粉后32 d,标准发芽率达到44.53%,明显高于冷浸发芽率16.73%和出苗率10.87%,随后趋于上升的趋势;在授粉后57 d标准发芽率和出苗率达到最大分别为94.97%和90.59%,而冷浸发芽率

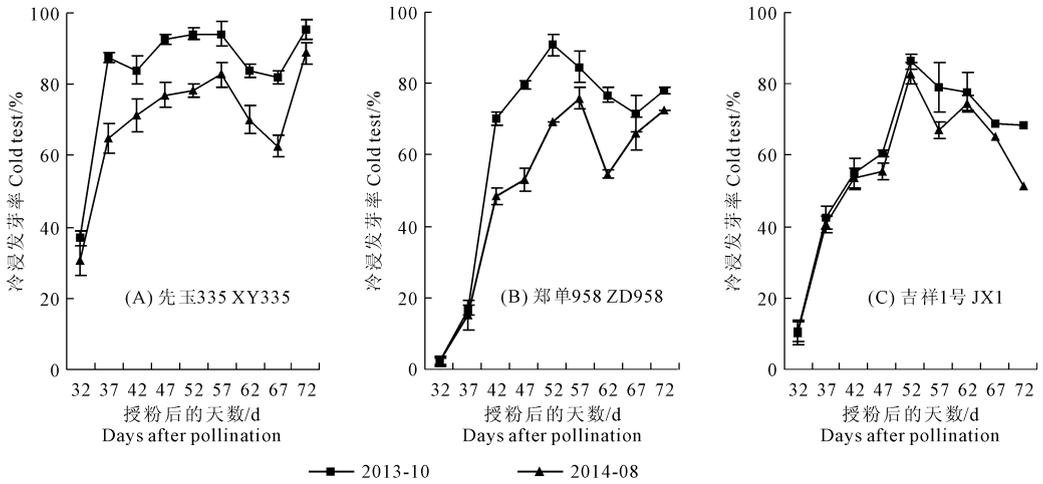


图2 不同收获期种子贮藏前后冷浸发芽率的变化  
Fig.2 Cold-test changes of different harvesting dates after 10 months storage

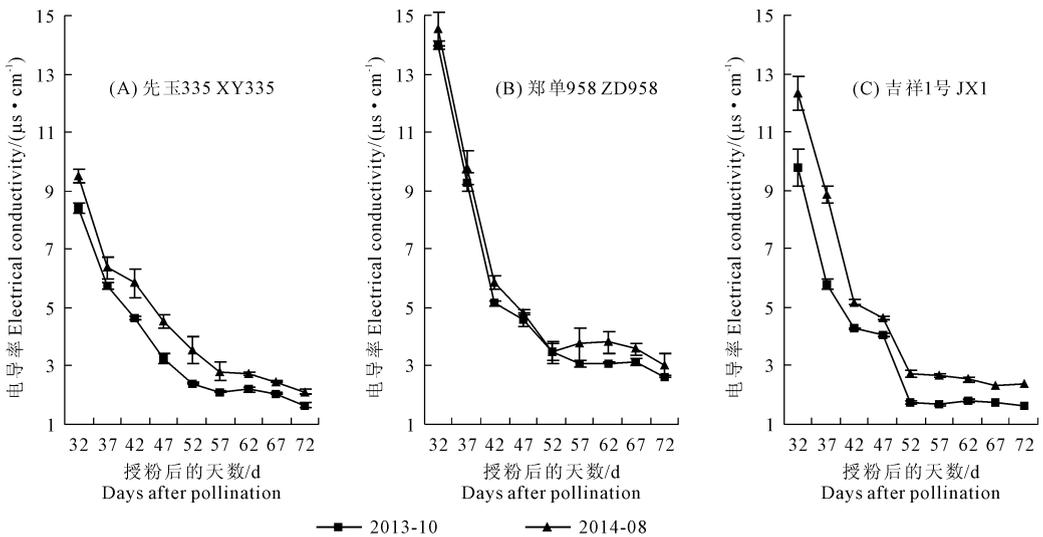


图3 不同收获期种子贮藏前后电导率的变化

Fig.3 Electrical conductivity changes of different harvesting dates after 10 months storage

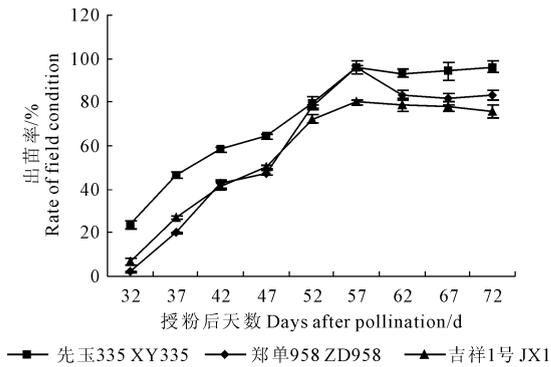


图 4 授粉后天数对不同基因型出苗率的影响

Fig. 4 Days after pollination influenced on rate of field condition of different genotypes

在授粉后 52 d 达到最大 90.57%，与出苗率差异不明显，由于冷浸发芽实验是模拟种子在播种时可能遇到的低温逆境胁迫，与出苗时受到的低温胁迫一致，因此可以作为测定种子活力以预测田间出苗率的较好方法<sup>[11]</sup>。这与王景升的研究结果一致，即标准发芽实验无法在种子的衰老性和表现性方面提供有效差异<sup>[14]</sup>。因为，田间的环境条件不稳定，实验室中发芽率高的种子，田间出苗表现不一致，最终田间出苗率与标准发芽率差异大，这是由种子活力导致。对于预测收获后期的田间出苗率还存在局限，需进一步研究。电导率与种子的活力呈显著负相关，这与 Yakich R W 等<sup>[15]</sup>在大豆种子活力与电导率负相关的研究一致，本研究中电导率随着授粉后天数增加而降低，只是确定了不同收获时期不同品种活力的高低，但不能更好地确定达到活力最高时的收获期，这与张自阳等<sup>[16]</sup>的研究一致，即电导率的大小只能判断种子活力的高低，不能全面、准确判断种子的活力。

本研究中 3 个不同基因型杂交种经过 10 个月贮藏后，种子的萌发能力和活力下降，这与前人在小麦<sup>[17]</sup>、大豆<sup>[18]</sup>、水稻<sup>[19]</sup>、玉米<sup>[20]</sup>种子老化研究的结果一致，其中先玉 335 的标准发芽率经贮藏后降低 2%、冷浸发芽率降低 6.8%，吉祥 1 号标准发芽率降低 3.5%、冷浸发芽率降低 6.9%，郑单 958 标准发芽率降低 3.7%、冷浸发芽率降低 15%；出苗率在授粉后 32 ~ 72 d 之间先玉 335 > 吉祥 1 号 > 郑单 958，说明种子活力受不同采收期贮藏的影响在不同基因型间存在差异，这与成广雷<sup>[21]</sup>等在临界胁迫贮藏条件下不同基因型玉米种子活力及生理变化研究一致，即种子本身的基因型影响其活力，另外对于适宜条件下的贮藏性大小顺序为：先玉 335 > 吉祥 1 号 > 郑单 958，而经过低温冷害后的贮藏性也相应发生变化。

众多研究结果表明，种子活力与种子成熟度密切相关<sup>[22-24]</sup>，本研究结果表明，随着种子成熟度的提高，玉米种子标准发芽率、冷浸发芽率、出苗率呈增大趋势，电导率呈下降趋势。贮藏前在授粉 57 d 时标准发芽率最大为 94.97%，贮藏后为 90.11%，降低了 4.86%；在授粉 52 d 时冷浸发芽率最大分别为 90.57%（贮藏前）和 76.84%（贮藏后），降低 13.73%；在授粉后 57 d 出苗率达到最大分别为 95.91%（先玉 335）、95.81%（郑单 958）和 80.06%（吉祥 1 号）；在授粉后 72 d，电导率最小分别为 1.97 和 2.51  $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ，增大 0.54  $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ，即活力衰退最小范围内的适宜收获期为授粉后 50 ~ 60 d，这与张自阳<sup>[16]</sup>开花后 30 d 收获活力最高有差异，但这与当地的气候和地域条件有关，需进一步探讨。

#### 参考文献:

- [1] 李爱玲, 马云国, 杨明凯, 等. 不同收获期对玉米杂交种齐单 1 号种子活力的影响[J]. 山东农业科学, 2014, 46(12): 34-37.
- [2] 张自阳, 朱俊华, 程 媛, 等. 不同成熟度小麦种子活力及其与生理性状的相关性研究[J]. 河南农业科学, 2014, 43(12): 6-9.
- [3] Fu Y F. Physiological and seed vigor changes of *Elymus sibiricus* L seeds during artificial aging[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(6): 1360-1363.
- [4] 周小梅, 赵运林, 文 彤, 等. 亚精胺引发对水分胁迫下水稻种子活力及幼苗生理特性的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(2): 247-252.
- [5] Li S M, Dong L P, Sun J Y. Effect of artificial accelerated aging of 2 wheat cultivars on seed germination and physiological and biochemical characteristics[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2012, 37(5): 18-20.
- [6] Burris J S, Knittle K H. Freeze damage and seed quality in hybrid maize[J]. Seed Technol, 1985, 7(7): 51-74.
- [7] 毛培胜, 韩建国, 戚贵彦. 收获时间对老芒麦种子质量的影响[J]. 中国草地, 2002, 24(6): 21-27.
- [8] 刘明久, 王铁固, 陈士林, 等. 玉米种子老化过程中生理特性与种子活力的变化[J]. 核农学报, 2008, 22(4): 510-513.
- [9] 毛培胜, 韩建国, 浦心春, 等. 高羊茅种子成熟过程中的活力变化[J]. 中国草地, 1997, (2): 36-41.
- [10] 刘旭欢, 加得拉·努尔兰, 张峥嵘, 等. 不同老化时间和收获期对春小麦种子活力的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(8): 1394-1399.
- [11] 姜 文. 小麦种子活力及其与酶和贮藏蛋白关系的研究[D]. 安徽: 安徽农业大学, 2006.
- [12] 孙 群, 王建华, 孙宝启. 种子活力的生理和遗传机理研究进展[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 48-53.
- [13] 刘 军, 黄上志, 傅家瑞, 等. 种子活力与蛋白质关系的研究进展[J]. 植物学通报, 2001, 18(1): 46-51.
- [14] 王景升, 王振泰, 李 捷. 玉米种子活力测定方法的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1989, 20(2): 108-113.

际中更加简便可行,本文明确各站均采用逐步回归方程作为降水渗透深度预测模型。

(3) 降水渗透深度预测模型,沙壤土条件下模型预测效果较好、壤土条件下效果中等,而粗砂土条件下预测效果一般,主要考虑是粗砂土地表温度高,加上盐池站降水量普遍偏小,蒸发蒸腾对降水入渗的影响大于其它站两种土质的土壤。

(4) 在地表植被覆盖程度基本一致、降水过程相同的情况下,土壤质地对降水渗透深度影响较大,渗透深度大小顺序为粗砂土 > 沙壤土 > 壤土。

## 4 讨 论

本文引入根据土壤各层含水量增量的变化确定渗透深度的方法,用其代表降水在土壤中渗透深度的观测值,虽然存在一定的误差,但由于研究区域属于雨养农业区,土壤中水分基本都来自降水,因此用该方法获得的渗透深度数据具有一定的代表性。同时,在建立渗透深度模型时,没有涉及日照、风速等其它气象因素,主要是考虑从宁夏整个气候划分看,研究站点同属于一个大的气候背景,暂认为其它气象因素对渗透深度的影响基本相似,忽略其对模型的影响,这也可以作为本文研究进一步的关注重点。

另外,受研究区域内土壤水分自动站建站、数据标校和投入使用等因素的影响,文章共统计出了宁夏中部干旱带各站 2013—2015 年生长季内典型降水过程 27~32 次,综合考虑模型建立和检验的样本量,各站均预留 5 次降雨过程数据资料进行模型验证,用于建立模型的样本在 22~27 次,从统计学的角度看,样本量仍略显不足,因此本文在建立回归模型的同时,对样本进行了相关分析和检验,以弥补由于样本量有限给预测模型带来的不确定性。

值得注意的是,本文最终选用逐步回归方程作为降水渗透深度预测模型,各站进入模型的因子均只有气象因子而没有初始土壤湿度,这并不是说初始土壤湿度对渗透深度没有影响,而是因为试验站点均处于干旱少雨、风日偏多的干旱区域,模型应用时可暂时忽略各试验点土壤湿度条件对渗透深度影响的不同。

## 参 考 文 献:

- [1] 张瑞兰. 宁夏中部干旱带基本气候特征与干旱化[J]. 宁夏农林科技, 2006, (5): 85-86.
- [2] 赵同应, 朱凌云, 卫丽萍, 等. 旱地土壤水渗透深度预测模型研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 68-71.
- [3] 陶祖文, 裴步祥. 华北平原地区春季降水渗透深度和透雨的农业气象估算方法[J]. 气象学报, 1983, 41(1): 97-105.
- [4] 杨淑香. 农牧林交错带不同降水年型下土壤水分动态研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(7): 107-110.
- [5] 张永涛, 杨吉华, 夏江宝, 等. 石质山地不同条件的土壤入渗特性研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 123-126.
- [6] 熊好琴, 段金跃, 王 妍, 等. 毛乌素沙地生物结皮对水分入渗和再分配的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 82-87.
- [7] 秦华军, 何丙辉, 赵旋池, 等. 西南喀斯特山地地下经济模式对土壤渗透性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(11): 1386-1394.
- [8] Shukla M K, Lal R, Unkefer P. Experimental evaluation of infiltration models for different land use and soil management system[J]. J Soil Science, 2003, 168(3): 178-191.
- [9] 冶林茂, 薛昌颖, 杨海鹰, 等. 过程降雨入渗土壤深度的推算方法[J]. 中国农业气象, 2010, 31(增 1): 66-69.
- [10] 赵同应, 王景秀, 王福仁. 过程降水与土壤水渗透深度试验分析[J]. 山西气象, 2003, (4): 19-21.
- [11] 万 爽, 何俊仕, 付玉娟, 等. 基于人工降水模拟的不同灌溉方式下土壤水分入渗[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 401-405.
- [12] 方文松, 刘荣花, 朱自玺, 等. 农田降水渗透深度的影响因素[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 185-188.

(上接第 74 页)

- [15] Yaklich R W, Abdul - Baki A. Variability in metabolism of individual axes of soybean seeds and its relationship to vigor[J]. Crop Science, 1975, 15: 474-426.
- [16] 张自阳, 姜小琴, 王娟娟, 等. 人工老化处理对小麦种子活力和醇溶蛋白、麦谷蛋白组成的影响[J]. 河南农业科学, 2014, 43(2): 24-27.
- [17] 贺 杰, 王 伟, 胡海燕, 等. 小麦种子活力与其保护酶活性关系的研究[J]. 天津农业科学, 2012, 18(2): 17-19.
- [18] Brooking I R. Maize ear moisture during grain filling, and its relationship to physiological maturity and grain filling[J]. Field Crops Research, 1990, 23: 55-68.
- [19] 张桂莲, 杨定照, 张顺堂, 等. 不同成熟度对水稻种子萌发及其生理特性的影响[J]. 植物生理学通讯, 2012, 48(3): 272-276.
- [20] 石海春, 柯永培, 傅体华, 等. 不同成熟度玉米种子活力的差异性研究[J]. 四川农业大学学报, 2006, 24(3): 269-271.
- [21] 成广雷, 张海娇, 赵久然. 临界胁迫贮藏条件下不同基因型玉米种子活力及生理变化[J]. 中国农业科学, 2015, 48(1): 33-42.
- [22] Adam N M, Mcdonald M B, Henderlong P R. The influence of seed position, planting and harvesting dates on soybean seed quality[J]. Seed Science and Technology, 1989, 17: 143-152.
- [23] 廖文燕, 金钱松种子贮藏过程中的生理生化变化[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [24] 蔡春菊, 高 健, 牟少华. 60Co $\gamma$  辐射对毛竹种子活力及早期幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2007, 21(5): 436-440.