

## 超干的玉米种子在加速老化过程中生理生化指标的变化

张海娇<sup>1</sup>, 张耀川<sup>1</sup>, 白素兰<sup>2\*</sup> (1. 北京农业职业学院, 北京 102442; 2. 首都师范大学生命科学院, 北京 100048)

**摘要** [目的]研究超干贮藏种子的耐贮性和可以保持的优良生理生化指标。[方法]以郑单 958、先玉 335、京单 28 和农大 108 为试验材料, 采用超干处理后进行人工老化处理, 回湿后测定其发芽率、发芽指数、活力指数、电导率和淀粉含量等指标, 通过多个生理生化指标的测定来衡量种子衰老的速度。[结果]不同玉米品种各处理的衰老速度为对照(CK) > 8% > 5%。玉米种子在超干贮藏中呼吸弱, 萌发过程中细胞膜修复的好, 活力指数高, 适合超干贮藏, 在超干贮藏中的适宜水分含量可达到 5%。[结论]该研究可为衰老玉米种子的生产应用提供理论依据。

**关键词** 超干贮藏; 活力指数; 淀粉含量; 电导率; 比较分析法

**中图分类号** S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)33-0001-04

## Physical and Biochemical Indices Changes of Ultra-dry Storage Maize Seeds during Artificial Aging

ZHANG Hai-jiao<sup>1</sup>, ZHANG Yao-chuan<sup>1</sup>, BAI Su-lan<sup>2</sup> (1. Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442; 2. School of Life Science, Capital Normal University, Beijing 100048)

**Abstract** [Objective] Storability and physical and biochemical indices of ultra-dry storage seeds were studied. [Method] Taking maize varieties Zhengdan958, Xianyu335, Jingdan28 and Nongda108 as test material, through dry processing, germination rate, germination index, vitality index, electronic conductivity, starch content were detected to evaluate the speed of seed senescence after re-humidification. [Result] The senescence speed of different maize varieties was CK > 8% > 5%. Under ultra-dry storage condition, their respiratory rate was slow, cell membrane was repaired better during germination, vigor index was high, the suitable moisture content can reach 5%. [Conclusion] The research can provide theoretical basis for the production and application of senescent maize seeds.

**Key words** Ultra-dry storage; Vigor index; Starch content; Conductivity; Comparative analysis method

通过不同的干燥方式, 将种子含水量降至 5% 以下, 称为种子超干燥。1986 年, Ellis 等<sup>[1]</sup>发现, 将芝麻种子的水分从 5% 降低至 2%, 可使其贮藏寿命延长 40 倍。这个效果, 相当于将贮藏温度从 20 °C 降低到 -20 °C。在此基础上, 提出了超干保存的设想<sup>[1]</sup>。Ellis 等<sup>[2]</sup>先后对苜蓿、油菜、亚麻、水稻、大麦、小麦等 20 个品种种子的超干燥贮藏进行试验, 结果表明, 所有供试种子的贮藏寿命均与种子含水量和贮藏温度紧密相关, 但不同种子的适宜含水量下限不同; 如果采收时间恰当, 水稻种子的含水量下限可以适当降低, 从而获得更好的贮存效果。我国对种子超干燥贮藏研究的起步较晚, 主要集中在作物种子上。周祥胜等<sup>[3]</sup>研究表明, 高油分的油菜、萝卜、黑芝麻等种子适于超干燥保存, 但不同种子的适宜含水量下限有差异。1989 年, 程红焱等<sup>[4]</sup>首先在我国开展种子超干保存研究, 并在超干种子的生理和细胞学方面取得了一定进展。为了解决种子超干处理后的吸胀损伤问题, 张云兰等<sup>[5]</sup>对豌豆、谷子等超干种子开展不同回湿方法的比较试验, 结果表明, 同一品种作物, 其高水分种子与低水分种子适应的回湿方法不同, 应根据种子水分的含量高低采用适当的回湿方法; 用 PEG(聚乙二醇)回湿种子, 其浓度对渗透效果影响很大, 如果使用不当, 不但不能起到渗透作用, 反而有损于细胞膜的修补作用。胡小荣等<sup>[6]</sup>研究超干燥红麻种子预先回湿方法, 结果表明超干燥红麻种子的吸胀损伤问题可以通过缓慢吸水来解决。胡家恕等<sup>[7]</sup>对超干红花种子的抗老化作用及其机理进行研究, 结果发现, 种子含水量降至 5% 以

下, 能显著提高其抗老化裂变能力; 超干燥虽然对细胞防御酶系统活性无明显影响, 但超干燥种子胚细胞中的自由基水平相对升高, 不过萌发前经回湿处理后可使因老化导致的过多自由基及时得到清除。朱诚等<sup>[8]</sup>通过对超干花生种子(含水量为 2.11%)的耐贮性与脂质过氧化作用之间的关系进行研究, 认为对脂质过氧化的抑制作用, 是超干燥种子耐贮藏的生理原因之一。陶梅等<sup>[9]</sup>探索种子超干脱水的实用方法和超干种子的密封方法。尽管国内外对种子超干保存的研究不少, 但目前我国尚未有关于玉米种子超干燥保存的研究报导, 如果对玉米种子超干燥贮藏后的生活力、电导率、淀粉含量等生理生化变化进行研究, 并从这些指标综合衡量玉米种子超干燥保存效果, 创立玉米种子超干燥保存技术, 将对玉米育种、种质鉴定与保存有重要意义<sup>[10]</sup>。

## 1 材料与方法

**1.1 供试材料** 供试种子有郑单 958、先玉 335、京单 28 和农大 108, 均为 2016 年产, 玉米种子的百粒重、发芽率和含水量测定结果见表 1。

表 1 玉米种子的百粒重和发芽率

Table 1 100-seed weight and germination rate of maize seed

品种 Variety	百粒重 100-seed weight//g	发芽率 Germination rate//%	含水量 Water content %
郑单 958 Zhengdan 958	35.6	96	12
先玉 335 Xianyu 335	33.5	94	11
京单 28 Jingdan 28	38.5	96	12
农大 108 Nongda 108	33.3	80	12

## 1.2 试验方法

**1.2.1 种子超干处理。**采用室温硅胶干燥法。玉米种子经过 20 d 处理后, 含水量分别降为 8% 和 5%。超干后的种子

**基金项目** 北京农业职业学院院级项目(XY-YF-16-02)。

**作者简介** 张海娇(1988—), 女, 黑龙江双鸭山人, 讲师, 硕士, 从事作物种质资源创新与利用研究。\* 通讯作者, 副教授, 硕士生导师, 博士, 从事细胞生物学研究。

**收稿日期** 2018-04-11

密封于称量瓶中,备用。

**1.2.2 人工加速老化试验。**玉米超干和未超干(对照)种子置于45℃恒温箱内进行人工老化处理,每间隔一段时间进行生活力、电导率、淀粉含量测定<sup>[11]</sup>。

**1.2.3 回湿。**将超干和对照种子分别置于尼龙网中,顺序放入饱和CaCl<sub>2</sub>饱和溶液、饱和NH<sub>4</sub>Cl溶液以及湿度为95%的环境中24h,进行逐级回湿<sup>[12]</sup>。

**1.2.4 种子生活力测定。**按照玉米种子《国际种子检验规程》,采用砂床发芽方法。

**1.2.5 电导率测定。**采用毕辛华等<sup>[13]</sup>的方法,用DDSJ-308A型电导仪测浸泡液和对照的电导率(μs)。

**1.2.6 淀粉含量测定。**采用CaCl<sub>2</sub>-HOAc浸提-旋光法<sup>[13]</sup>测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 超干贮藏对种子生活力的影响

**2.1.1 不同品种间玉米种子发芽率的比较。**如表2所示,对照组中农大108在40℃老化处理5d后种子的发芽率降为0,郑单958、先玉335和京单28在第6天后发芽率降为零,发芽率下降均较快;8%水分下郑单958、先玉335和农大108在6d后发芽率降为0,京单28在第11天后发芽率降为0,发芽率较对照组下降缓慢。5%(超干)水分的玉米种子,农大108在第15天后发芽率降为0,郑单958、先玉335和京单28分别在21d后发芽率降为0。经过超干处理的玉米种子在40℃老化30d后,高含水量的玉米种子发芽率下降严重,超干的玉米种子发芽率下降的很缓慢,说明耐贮性大大增强。

表2 40℃人工老化条件下玉米种子发芽率的变化

Table 2 The germination rate changes of maize seeds during 40℃ artificial aging

%

品种 Variety		老化时间 Aging time									
		1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	11 d	15 d	21 d	30 d
郑单 958	CK	96	54	30	12	0	0	0	0	0	0
Zhengdan 958	8%	96	82	62	44	18	4	0	0	0	0
	5%	96	84	78	70	58	36	24	10	2	0
先玉 335	CK	94	60	36	14	4	0	0	0	0	0
Xianyu 335	8%	92	78	64	46	24	10	0	0	0	0
	5%	96	94	94	90	80	76	60	38	12	0
京单 28	CK	96	82	68	24	8	0	0	0	0	0
Jingdan 28	8%	94	90	70	58	26	10	4	0	0	0
	5%	90	86	80	76	68	58	46	32	18	0
农大 108	CK	80	56	26	10	0	0	0	0	0	0
Nongda 108	8%	88	74	54	26	6	2	0	0	0	0
	5%	90	84	78	66	54	46	36	16	0	0

**2.1.2 不同品种间玉米种子发芽指数的比较。**如表3所示,不同品种间玉米种子的发芽指数表现出与发芽率相似的变化特征,即发芽指数下降程度较对照组相对缓慢。5%(超干)水分的玉米种子,农大108在第15天时发芽指数为

34.6,郑单958、先玉335和京单28在第21天时发芽指数分别为2.3、36.2和33.1,仍保持一定的生活力,表明经超干处理后玉米种子耐贮性大大增强。

表3 40℃人工老化条件下玉米种子发芽指数的变化

Table 3 The germination index changes of maize seeds during 40℃ artificial aging

品种 Variety		老化时间 Aging time									
		1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	11 d	15 d	21 d	30 d
郑单 958	CK	36.9	31.5	23.1	11.5	1.5	0	0	0	0	0
Zhengdan 958	8%	36.2	33.8	27.7	20.0	10.0	6.2	0	0	0	0
	5%	34.6	33.8	33.8	31.5	29.2	25.4	20.0	11.5	2.3	0
先玉 335	CK	36.2	23.1	13.8	5.4	1.5	0	0	0	0	0
Xianyu 335	8%	35.4	30.0	24.6	17.7	9.2	3.8	0	0	0	0
	5%	36.9	36.2	36.2	34.6	30.8	29.2	23.1	14.6	4.6	0
京单 28	CK	36.9	31.5	26.2	9.2	3.1	0	0	0	0	0
Jingdan 28	8%	36.2	34.6	26.9	22.3	10.0	3.8	1.5	0	0	0
	5%	34.6	33.1	30.8	29.2	26.2	22.3	17.7	12.3	6.9	0
农大 108	CK	30.8	21.5	10.0	3.8	0	0	0	0	0	0
Nongda 108	8%	33.8	28.5	20.8	10.0	2.3	0.8	0	0	0	0
	5%	34.6	32.3	30.0	25.4	20.8	17.7	13.8	6.2	0	0

**2.1.3 不同品种间玉米种子活力指数的比较。**从表4可以看出,超干玉米种子生活力下降缓慢,在45℃老化21d后,

仍保有一定的生活力,高含水量的种子发芽指数已在5~11d生活力降为0,超干的玉米种子耐贮性大大增加。

表 4 40 °C人工老化条件下玉米种子的活力指数变化

Table 4 The vigor rate changes of maize seeds during 40 °C artificial aging

品种 Variety	老化时间 Aging time										
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	11 d	15 d	21 d	30 d	
郑单 958	CK	118.15	104.08	64.62	18.46	15.32	0				
Zhengdan 958	8%	126.54	128.62	108.00	30.00	12.00	9.35	0			
	5%	110.77	118.46	138.77	116.69	76.00	71.08	38.00	13.85	3.92	0
先玉 335	CK	104.85	69.23	49.85	12.38	3.85	0				
Xianyu 335	8%	134.46	105.00	68.92	56.62	31.38	12.31	0			
	5%	132.92	101.23	97.62	83.08	80.00	81.85	66.92	43.85	9.69	0
京单 28	CK	107.08	78.85	73.23	13.85	4.92	0				
Jingdan 28	8%	115.69	96.92	91.54	42.38	21.00	5.77	1.85	0		
	5%	110.77	105.85	101.54	84.77	73.23	53.54	46.00	18.46	8.31	0
农大 108	CK	126.15	81.85	28.00	11.15	0					
Nongda 108	8%	176.00	79.69	72.69	34.00	4.38	1	0			
	5%	86.54	74.31	72.00	45.69	45.69	37.15	24.92	7.38	0	

**2.2 超干贮藏对玉米种子电导率的影响** 老化后种子浸泡时,由于细胞膜结构和功能的破坏,种子中氨基酸、有机酸、糖分等化合物渗入水中,增加了水中离子浓度,使电导率增

加。结果如表 5 所示,5%水分超干的种子电导率上升的速度明显慢于 8%水分的玉米种子,8%水分玉米种子电导率上升的速度慢于对照组。

表 5 40 °C人工老化条件下玉米种子的电导率变化

Table 5 The electronic conductivity changes of maize seeds during 40 °C artificial aging

 $\mu\Omega/\text{cm}$ 

品种 Variety	老化时间 Aging time										
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	11 d	15 d	21 d	30 d	
郑单 958	CK	785	804	826	901	903	905				
Zhengdan 958	8%	764	802	826	875	900	905	908			
	5%	753	760	783	790	799	826	839	875	911	913
先玉 335	CK	645	706	721	733	745	748				
Xianyu 335	8%	642	656	707	721	726	735	738			
	5%	650	651	672	680	695	708	723	730	745	746
京单 28	CK	899	850	871	942	950	953				
Jingdan 28	8%	873	880	885	890	912	923	943	945		
	5%	875	879	882	893	909	912	919	922	932	942
农大 108	CK	653	706	721	733	765	768				
Nongda 108	8%	643	656	707	721	726	735	744			
	5%	629	641	659	698	703	711	713	725	745	

如图 1 所示,对照组郑单 958 衰老速度最快,最慢为京单 28,为  $9.0 \mu\Omega/(\text{cm}\cdot\text{d})$ 。8%水分组,郑单 958 衰老速度最快为  $13.1 \mu\Omega/(\text{cm}\cdot\text{d})$ ,京单 28 最慢,为  $4.8 \mu\Omega/(\text{cm}\cdot\text{d})$ 。5%水分组(超干),农大 108 衰老速度最快,最慢为京单 28,电导率日均增量为  $2.2 \mu\Omega/(\text{cm}\cdot\text{d})$ 。各品种衰老的速度  $\text{CK} > 8\% > 5\%$ (超干)。

**2.3 超干贮藏对种子淀粉含量变化的影响** 种子内部存在丰富的营养物质,一方面在呼吸过程中转化为能量,用于生长和合成;另一方面通过代谢转化成新细胞组成的成分。而玉米种子中淀粉含量达到 70%以上,所以测算淀粉的含量,可以比较种子的衰老速度。各品种淀粉含量的变化如表 6 所示。5%水分超干的种子淀粉含量下降的速度明显慢于 8%水分的玉米种子,8%水分玉米种子淀粉含量下降的速度慢于对照组。

如图 2 所示,对照组种子中,消耗淀粉最多的为郑单 958,最少的为农大 108,日均消耗量为  $99 \text{ g/kg}$ 。8%水分种子中,消耗淀粉最多的为农大 108,最少的为京单 28。5%种子

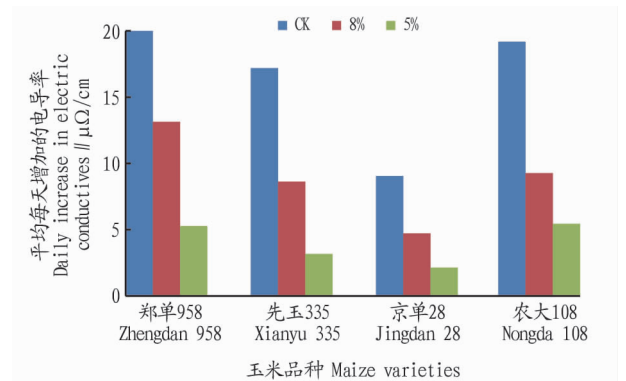


图 1 不同玉米品种在人工老化下电导率日均增量

Fig. 1 Daily increases in electric conductivities of different maize varieties during artificial aging

组,消耗淀粉最多的为农大 108,日均消耗量为  $24.8 \text{ g/kg}$ ,最少的为京单 28。各品种衰老的速度  $\text{CK} > 8\% > 5\%$ (超干)。因此,在该试验中超干的玉米种子是可以长时间贮藏。

表6 40℃人工老化条件下玉米种子淀粉含量的变化

Table 6 The starch changes of maize seeds during 40℃ artificial aging

g/kg

品种 Variety		老化时间 Aging time									
		1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	11 d	15 d	21 d	30 d
郑单 958	CK	672	574	420	210	28	28				
Zhengdan 958	8%	658	616	504	364	182	112	109			
	5%	630	616	616	574	532	462	364	210	42	38
先玉 335	CK	658	420	252	98	28	26				
Xianyu 335	8%	644	546	448	322	168	70	68			
	5%	672	658	658	630	560	532	420	266	84	82
京单 28	CK	672	574	476	168	56	55				
Jingdan 28	8%	658	630	490	406	182	70	28	26		
	5%	630	602	560	532	476	406	322	224	126	119
农大 108	CK	560	392	182	70	65					
Nongda 108	8%	616	518	378	182	42	14	12			
	5%	630	588	546	462	378	322	252	112	109	

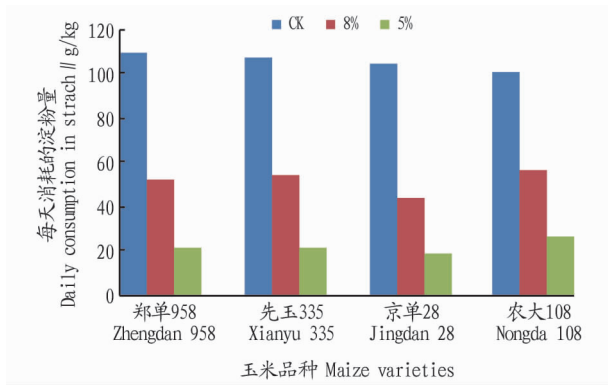


图2 不同玉米品种在人工老化下淀粉含量的日均消耗量

Fig. 2 Daily consumption in starch of different maize varieties during artificial aging

### 3 结论

(1) 从种子的活力指数看,经过超干处理的玉米种子在40℃老化21 d后,仍保有一定的生活力,高含水量的种子生活力在5~11 d降为零,超干的种子贮藏的天数增加了2~3倍,不同品种间玉米种子活力指数变化趋势相似。

(2) 从种子细胞膜修复的程度来看,通过比较分析电导率增加的速度,4个品种各处理的衰老速度为CK>8%>5%(超干),超干贮藏种子的细胞膜修复的能力好于高水分种子的修复能力。

(3) 从种子淀粉量消耗的程度来看,通过比较分析淀粉量消耗的速度,4个品种各处理的淀粉消耗速度为CK>8%>5%(超干),可以看出超干的玉米种子呼吸是最弱的,但并不

是完全没有呼吸。

综上所述,玉米种子在超高贮藏中呼吸弱,萌发过程中细胞膜修复的好,活力指数高,适合超干贮藏。该试验中缺少对玉米种子遗传特性的探讨,后续研究中能证明超干贮藏的玉米种子的遗传性稳定,将使试验更加准确可行。

### 参考文献

- [1] ELLIS R H, HONG T D, ROBERTS E H. A low-moisture-content limit to logarithmic relations between seed moisture content and longevity [J]. *Annals of botany*, 1988, 61(4): 405-408.
- [2] ELLIS R H, HONG T D, ROBERTS E H. A comparison of the low-moisture-content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species [J]. *Annals of botany*, 1989, 63(6): 601-611.
- [3] 周祥胜, 毕辛华. 超低水分贮藏对几种高油分种子生活力的影响 [J]. *种子*, 1993(4): 13-19.
- [4] 程红焱, 郑光华, 陶嘉龄. 超干处理对几种芸苔属植物种子生理生化和细胞超微结构的效应 [J]. *职务生理学报*, 1991, 17(3): 273-284.
- [5] 张云兰, 郭新荣. 超干种子回湿方法的研究 [J]. *作物品种资源*, 1994(4): 48-50.
- [6] 胡小荣, 胡承莲, 张云兰, 等. 红麻超干燥种子预先回湿方法研究 [J]. *种子*, 1999(3): 23-24.
- [7] 胡家恕, 朱诚, 曾广文, 等. 超干红花种子抗老化作用及其机理 [J]. *植物生理学报*, 1999, 25(2): 171-177.
- [8] 朱诚, 曾广文, 郑光华. 超干花生种子耐藏性与脂质过氧化作用 [J]. *作物学报*, 2000, 26(2): 235-238.
- [9] 陶梅, 辛萍萍, 张云兰. 实用种子干燥和超干种子密封方法的探索 [J]. *种子科技*, 1997(3): 29-31.
- [10] 邹冬梅, 黄伟坚. 种子超干保存技术的研究现状与前景 [J]. *热带农业科学*, 2003, 23(3): 73-76.
- [11] 高灿伦, 金锡奎. 作物种子学(北方本) [M]. 郑州: 河南科技出版社, 1988: 271-276.
- [12] 景新明, 郑光华, 陶嘉龄. 超干的榆树种子在加速老化过程中活力变化与染色体变异 [M] // 郑光华. 种子生理研究. 北京: 科学出版社, 2004: 137-141.
- [13] 毕辛华, 戴心维. 种子学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 63-64.

## 科技论文写作规范——数字

公历世纪、年代、年、月、日、时刻和各种计数和计量,均用阿拉伯数字。年份不能简写,如1990年不能写成90年,文中避免出现“去年”“今年”等写法。小于1的小数点前的零不能省略,如0.2456不能写成.2456。小数点前或后超过4位数(含4位数),从小数点向左每3位空半格,不用“,”隔开。如18 072. 235 71。尾数多的数字(5位以上)和小数点后位数多的小数,宜采用 $\times 10^n$ ( $n$ 为正负整数)的写法。数字应正确地写出有效数字,任何一个数字,只允许最后一位存在误差。