



王振,邓杰,高树仁,等.老化处理对不同活力玉米种子生理特性的影响[J].黑龙江农业科学,2021(11):7-12.

# 老化处理对不同活力玉米种子生理特性的影响

王振<sup>1</sup>,邓杰<sup>2</sup>,高树仁<sup>2</sup>,樊景胜<sup>1</sup>,连永利<sup>1</sup>,曲忠诚<sup>1</sup>,徐婷<sup>1</sup>,赵佰仁<sup>1</sup>

(1.黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院,黑龙江齐齐哈尔161000;2.黑龙江八一农垦大学农学院,黑龙江大庆163319)

**摘要:**为研究老化种子中生理指标与种子活力的相关性,本研究采用高温高湿人工加速老化的方法处理3份不同活力玉米杂交种,测定在不同老化处理下种子的吸水特性、种子外渗物质、ROS、重要酶类及调节物质等生理生化指标的变化。结果表明:随着老化程度加深,种子的吸水能力在吸胀12~24 h受抑制逐渐明显。活力强的种子氨基酸外渗量低,•OH清除速率和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量随老化时间延长呈下降趋势,不同活力种子间差异不显著。随老化时间延长,种胚内的可溶性糖、Pro含量、DHA活性及POD活性出现不同程度下降,活力强的种子仍能保持较高调节物质含量及酶活性。DHA活性、POD活性及Pro含量与种子活力显著相关,说明可通过测定这些生理指标判定种子的活力水平及耐贮性。

**关键词:**玉米种子;老化处理;种子吸水特性;生理特性;氨基酸外渗物;酶和调节物质

玉米(*Zea mays* L.)是我国种植面积最大的粮食作物,其产量约占全球玉米总产量的四分之一

—<sup>[1]</sup>。随着国家政策的引导和市场供需关系的调整,我国玉米种业市场发展迅速,全球很多玉米种业巨头相继在中国设立分支机构,外资企业对中国玉米种业市场的冲击,导致国内玉米种子产能过剩,库存积压<sup>[2]</sup>,从而产生种子的老化问题。种子老化(Seed aging)是指种子随贮藏时间延长或贮藏条件不当,活力降低的一个过程。老化后表现为种子内外变色、发芽迟缓及发芽率下降,还会影响植物生长发育,最终影响产量和品质<sup>[3]</sup>。老

收稿日期:2021-06-20

**基金项目:**黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX12-17);黑龙江省应用技术与开发计划(GA20B102-06);齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2020032);黑龙江省农垦总局重点科研计划项目(HKKY190102-02)。

**第一作者:**王振(1988—),男,硕士,研究实习员,从事玉米育种工作研究。E-mail:wz63348132@163.com。

## Comprehensive Traits Evaluation and Analysis of Interaction with Environment of the New Maize Varieties Consortium Test in Heilongjiang Province

ZHOU Chang-jun

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China)

**Abstract:** In order to explore the performance rules of the new maize varieties traits in different analysis models, and make objective and reasonable comprehensive evaluation, this paper used AMMI model, grey correlation degree and principal component analysis to analyze the 14 traits of 15 maize varieties (lines). The results showed that the interaction effect of the principal components IPCA1, IPCA2 and IPCA3 of the interaction between maize yield genotype and environment accounted for 90.49%, indicating that AMMI model analyzed the interaction information between genotype and environment thoroughly; In the analysis of variety stability  $D_i$  and pilot discrimination parameter  $D_j$ , varieties G1 and G3 belonged to high and stable yield varieties, G15 was low and stable yield varieties, and pilot E2, E1 and E5 had strong discrimination to varieties; Through the interaction of varieties and locations, it was concluded that varieties G1, G3 and G15 had good adaptability and stability. In conclusion, AMMI analysis scientifically reflected the interaction effect of additive genetic model in combination with the field yield performance and significant difference of varieties. The grey correlation degree and principal component analysis showed that the grey comprehensive evaluation values  $G_i$  were 0.757 4 and 0.716 0 respectively. Varieties G1 and G3 with comprehensive scores of principal components of 0.62 and 0.58 had good comprehensive characters and reliable high yield, stability and adaptability. G15 ranked low in each analysis method, indicating that its comprehensive character was poor, and it was a low yield and stable yield variety.

**Keywords:** AMMI model; grey correlation degree; stability; discrimination; principal component analysis

化种子内部始终进行着复杂的生理生化反应,如有害物质积累、内源激素紊乱、遗传物质变性、酶活性改变及生物膜系统损伤等<sup>[4]</sup>。

目前已经在多种粮食作物<sup>[5-6]</sup>、蔬菜<sup>[7]</sup>、草类<sup>[8-9]</sup>等植物上开展种子老化的研究。王玉娇等<sup>[10]</sup>对小麦老化的研究中表明种子老化处理后,活力及萌发后的根系受到明显抑制。孙守江等<sup>[11]</sup>通过对老芒麦牧草的研究认为活性氧(Reactive Oxygen Species, ROS)可能是加速种子老化的主要原因,应从抗氧化酶活性角度研究,寻找调控老化过程中抗氧化酶表达的相关基因。鲜萱等<sup>[12]</sup>在菠菜种子老化研究中发现老化对种子中过氧化物酶及萌发相关基因的表达量产生抑制作用。本研究通过对3份不同活力玉米杂交种进行人工加速老化处理,分析不同老化处理对玉米杂交种吸水特性、种子外渗物质、ROS、重要酶类及调节物质的影响,探究种子活力与生理指标的相关性。通过探究老化种子的活力、生理生化特性及遗传物质的变化规律,有效判定种子活力高低,预测种子田间出苗及耐贮性提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验在黑龙江八一农垦大学实验室进行。经过前期研究,选取通过发芽试验法鉴定的不同活力玉米品种锦源338、科玉15和元华116,未老化种子的固有活力从大到小排序依次是锦源338>元华116>科玉15;老化后经过出苗指数、幼苗长势等性状表型鉴定,耐老化程度从大到小排序依次是元华116>锦源338>科玉15<sup>[13]</sup>。

### 1.2 方法

1.2.1 人工加速老化 采用种子老化箱(LH-150S型)对玉米种子进行高温高湿老化处理,老化处理温度为45℃、相对湿度为≥95%。取3种玉米种子各200粒分别放在网袋中,均匀地平铺在老化箱内架子上进行老化处理,以未老化处理的种子作为对照。分别老化处理2,4,6和8d后,取出老化种子并放置室内20~25℃阴凉通风处,待种子含水量降为14%后进行种子含水率、渗透物质含量及生理活性的测定。

1.2.2 种子含水率的测定 随机选取不同处理老化种子各50粒,用双蒸水冲洗3次后吸干种子表面水分,称重( $m_0$ ),放在密闭试剂瓶中,加

40 mL双蒸水,25℃分别浸泡4,8,12和24h后,吸干种子表面水分,称重( $m_x$ ),测定含水率 $y$ ,3次重复。

$$y(\%) = (m_x - m_0) / m_0 \times 100$$

式中: $x$ 为浸泡时间。

1.2.3 外渗物含量测定 取各处理种子30粒,用双蒸水30 mL浸泡24h后取出种子,滤纸过滤掉渗出液杂质,将渗出液定容至30 mL,参照尹燕桦等<sup>[14]</sup>的方法测定氨基酸外渗量。

1.2.4 生理指标的测定 随机选取老化处理后的饱满种子,在双蒸水浸泡24h后取出,在冰上小心剥取种胚,选取0.3~0.5 g种胚4~6个进行以下生理指标的测定,3次重复。采用分光光度计法<sup>[15]</sup>测定·OH自由基清除速率;用碘量法<sup>[16]</sup>测定过氧化氢(Hydrogen peroxide,  $H_2O_2$ )含量;采用蒽酮法测定种胚内可溶性糖含量,采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白质含量,采用酸性茚三酮法测定脯氨酸(Proline, Pro)含量;采用TTC改进法测定脱氢酶(Dehydrogenase, DHA)活性,采用愈创木酚法<sup>[17]</sup>测定过氧化物酶(Peroxidase, POD)活性测定。

1.2.5 数据分析 利用Excel 2016对基础数据进行整理和作图,用SPSS 18.0进行方差分析和相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 老化处理对玉米种子含水率的影响

含水率表示种子吸水能力的强弱,通过研究老化对不同活力种子含水率的影响发现,随种子浸泡时间增加,所有品种的种子含水率均逐渐增加(表1)。较耐老化品种元华116在浸泡4,8和12h后含水率随老化天数呈现先增加后降低的趋势,分别在老化6d及8d出现降低,老化6d与8d的含水率均呈现显著差异;浸泡24h的老化种子在老化0~6d含水率逐渐减小,老化6d的种子含水率显著低于对照,在老化8d时略有增加,但与对照及老化6d差异不显著。未老化的品种锦源338含水率较各老化处理(除老化2d浸泡4h处理外)含水率高,与老化4d浸泡8h以上的种子呈显著差异。老化较敏感品种科玉15老化处理含水率较未老化处理有降低趋势,但均未达显著水平。总体来看,老化处理的种子在浸泡12~24h后吸水能力较对照降低。

表 1 不同老化处理对种子含水率的影响

品种	老化时间/d	含水率/%			
		浸泡 4 h	浸泡 8 h	浸泡 12 h	浸泡 24 h
元华 116	0(CK)	22.36±0.37 ab	29.31±0.50 c	34.33±0.32 b	42.08±1.42 a
	2	22.69±0.23 ab	29.92±0.41 bc	35.46±0.36 ab	41.07±0.04 ab
	4	22.79±0.44 ab	31.90±0.51 a	35.88±0.42 a	41.51±0.30 ab
	6	23.22±0.38 a	31.44±0.26 ab	36.03±0.44 a	39.54±0.44 b
	8	21.72±0.40 b	29.06±0.72 c	34.09±0.64 b	39.88±0.07 ab
锦源 338	0(CK)	22.66±0.35 ab	32.65±0.79 a	37.12±0.28 a	42.72±0.53 a
	2	23.09±0.45 a	32.27±0.82 a	35.75±0.63 ab	42.26±0.73 ab
	4	21.51±0.26 b	29.42±0.32 b	34.65±0.53 b	40.26±0.89 bc
	6	22.01±0.66 ab	30.68±0.07 ab	35.50±0.51 b	40.56±0.46 bc
	8	22.03±0.09 ab	30.92±0.73 ab	35.12±0.38 b	39.08±0.35 c
科玉 15	0(CK)	25.26±0.49 a	33.38±0.93 a	36.81±0.87 a	43.20±1.70 a
	2	25.31±0.31 a	32.26±0.72 a	36.63±0.57 a	41.88±0.18 a
	4	24.78±0.21 a	32.47±0.15 a	36.87±0.45 a	40.72±0.58 a
	6	24.54±0.73 a	32.76±0.83 a	37.13±0.30 a	40.36±1.14 a
	8	24.62±0.44 a	31.37±0.95 a	36.27±0.60 a	40.27±0.89 a

注：表中数据为平均数±标准误，不同小写字母表示相同品种不同处理间在  $P\leq 0.05$  水平差异显著。下同。

2.2 老化处理对玉米种子氨基酸外渗物的影响

种子活力下降主要是由于细胞膜等生物膜损伤严重,修复困难,种子细胞内部物质外渗。由表 2 可知,元华 116 的氨基酸外渗量随种子老化时间延长而增加,老化时间 $\geq 4$  d 的种子氨基酸外渗量显著高于对照,但所有处理的氨基酸外渗量低于另外两个品种;锦源 338 的氨基酸外渗量随种子老化时间延长先大幅度降低,后又缓慢回升,老化处理的氨基酸外渗量显著低于对照;科玉 15 氨基酸外渗量随种子老化时间延长先略有降低趋势,后又增加,老化 8 d 的氨基酸外渗量显著高于对照。

表 2 不同老化处理对种子外渗物氨基酸含量的影响

老化时间/d	外渗物氨基酸含量/( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )		
	元华 116	锦源 338	科玉 15
0(CK)	22.05 d	840.86 a	388.48 b
2	45.86 d	727.05 b	384.90 b
4	106.57 c	551.57 d	372.05 b
6	140.86 b	626.81 c	416.81 b
8	234.43 a	658.00 c	494.67 a

2.3 老化处理对玉米种胚中活性氧的影响

由表 3 可知,3 个供试品种的 $\cdot\text{OH}$ 清除速率随老化时间延长均呈逐渐降低趋势,老化 $> 4$  d 的 $\cdot\text{OH}$ 清除速率均显著低于对照。随老化时间的

延长,供试材料的  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量总体呈逐渐降低趋势,虽个别老化时间较前一处理有升高趋势,但未达到显著差异。元华 116 在老化时间 $\geq 4$  d、科玉 15 在老化时间 $\geq 6$  d、锦源 338 老化时间 $\geq 2$  d 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量显著低于对照。锦源 338 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量高于另外两个品种。

2.4 老化处理对玉米种胚中调节物质的影响

2.4.1 可溶性糖含量 可溶性糖是种子中重要的贮藏物质之一,测定种子中的可溶性糖含量对种子品质评价具有指导意义。由表 4 可知,3 个玉米品种的种胚中可溶性糖含量都呈先略升高后下降趋势。元华 116 和科玉 15 的可溶性糖含量均在老化 2 d 时最高,老化 6 和 8 d 的可溶性糖含量显著低于对照。锦源 338 的可溶性糖含量在老化 4 d 时最高,老化处理与对照的可溶性糖含量差异不显著。当老化时间 $\leq 4$  d 时,元华 116 的可溶性糖含量高于另外 2 个品种。

2.4.2 可溶性蛋白含量 可溶性蛋白是种子中一种重要的渗透调节物质和营养物质,其有利于细胞的保水能力,对生物膜起到保护作用。由表 4 可知,老化 0~4 d 3 个玉米品种的可溶性蛋白含量整体呈上升趋势,老化 4 d 时元华 116 和锦源 338 可溶性蛋白含量显著高于对照;老化 4~8 d,3 个玉米品种的可溶性蛋白含量整体呈下降趋势,老化 6 和 8 d 元华 116 和锦源 338 的可溶

性蛋白含量显著低于老化 4 d。科玉 15 的可溶性蛋白含量在老化 4 d 时最高,老化 8 d 较老化 6 d 处理虽略有上升,但仍低于对照。

表 3 不同老化处理对种胚中·OH 清除速率和 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 含量的影响				
项目	老化时间/d	元华 116	锦源 338	科玉 15
·OH 清除速率/%	0(CK)	561.19 a	456.79 a	525.61 a
	2	439.54 ab	450.82 a	473.08 a
	4	344.53 bc	393.77 ab	373.59 b
	6	270.96 c	358.36 b	327.83 b
	8	251.14 c	355.76 b	260.89 c
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 含量/( $\mu$ mol·g <sup>-1</sup> )	0(CK)	2.48 a	4.21 a	2.14 ab
	2	2.44 a	3.01 b	2.24 a
	4	1.25 bc	2.95 b	1.82 b
	6	1.32 c	1.80 c	1.09 c
	8	0.90 c	1.52 c	1.33 c

表 4 不同老化处理下种胚内调节物质含量的影响				
项目	老化时间/d	元华 116	锦源 338	科玉 15
可溶性糖/(mg·g <sup>-1</sup> )	0(CK)	2.10 a	1.30 ab	1.54 a
	2	2.41 a	1.44 ab	1.62 a
	4	2.12 a	1.53 a	1.44 ab
	6	1.36 b	1.36 ab	1.05 bc
	8	1.30 b	1.04 b	0.88 c
可溶性蛋白/(mg·g <sup>-1</sup> )	0(CK)	18.22 c	20.95 b	24.98 a
	2	23.31 ab	25.59 a	24.08 ab
	4	26.02 a	25.00 a	25.22 a
	6	19.63 bc	20.91 b	20.55 b
	8	16.23 c	17.93 b	21.70 ab
脯氨酸/%	0(CK)	0.13 a	0.10 a	0.07 a
	2	0.09 b	0.08 b	0.07 a
	4	0.08 b	0.07 b	0.05 b
	6	0.06 c	0.05 c	0.03 bc
	8	0.04 c	0.03 d	0.02 c

2.4.3 脯氨酸含量 脯氨酸可以保护生物膜,清除自由基,是理想的渗透调节物质。由表 4 可知,随老化时间延长,供试品种种胚中的脯氨酸含量均呈降低趋势。元华 116 和锦源 338 种胚的脯氨酸含量呈迅速-缓慢-迅速降低趋势,老化后的脯氨酸含量均显著低于对照。科玉 15 的脯氨酸含量从老化 2 d 后开始降低,老化后 4 d 脯的氨酸含量均显著低于对照。脯氨酸含量从高到低依次是元华 116、锦源 338 和科玉 15。

2.5 老化处理对玉米种胚中酶的影响

2.5.1 DHA 活性 由表 5 可知,随着老化时间延长,3 个玉米品种的胚中 DHA 活性逐渐降低,在老化 0~4 d 下降迅速,老化时间再延长,科玉 15 的 DHA 活性基本不变,元华 116 在老化 6 d 后 DHA 活性下降幅度缓慢,6 和 8 d 的 DHA 活性未有显著差异,锦源 338 的 DHA 活性在每个老化时段都显著降低。科玉 15 的种胚 DHA 活性始终低于元华 116 和锦源 338。

2.5.2 POD 活性 POD 是抗氧化酶系统中一个重要的酶,可以清除活性氧及过氧化产物,作为组织老化的一种重要的生理指标。由表 5 可知,随老化时间延长,3 个玉米品种的胚中 POD 活性受抑制程度逐渐增强。元华 116 的 POD 活性呈迅速-缓慢-迅速-缓慢下降的趋势,2 d 较 CK 下降了 46.46%,6 d 较 4 d 下降了 88.21%,达到显著水平。老化 4 d 科玉 15 的 POD 活性较对照下降了 86.88%,达显著水平,之后下降缓慢。锦源 338 的 POD 活性在老化 2 d 下降幅度最大,较对照下降了 77.82%,之后缓慢下降直至降为 0。老化 0~8 d 元华 116 的种胚中 POD 活性始终高于科玉 15 和锦源 338。

表 5 不同老化处理对胚中酶活性的影响				
项目	老化时间/d	元华 116	锦源 338	科玉 15
DHA/(U·mL <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	0(CK)	0.25 a	0.31 a	0.13 a
	2	0.21 b	0.25 b	0.08 b
	4	0.14 c	0.18 c	0.03 c
	6	0.08 d	0.09 d	0.04 c
	8	0.06 d	0.04 e	0.03 c
POD/(U·g <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0(CK)	343.22 a	212.68 a	156.61 a
	2	183.76 b	47.18 b	86.25 b
	4	160.37 b	12.46 c	20.55 c
	6	18.90 c	15.86 c	13.12 cd
	8	24.06 c	0 c	2.87 d

2.6 不同老化处理玉米种子活力与生理指标的相关分析

通过计算不同老化处理玉米种子活力与生理指标的相关系数可知,DHA 活性、POD 活性、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量、Pro 含量及种胚内可溶性糖含量均与 4 个种子活力指标达到显著或极显著正相关水平,Pro 含量与 4 个活力指标的平均相关系数最高,为 0.805。浸泡 24 h 含水率、·OH 清除速率

与 GP、GR、GI 表现极显著正相关,相关系数在 0.83~0.88 之间(表 6)。

表 6 老化处理后玉米种子活力指标与生理指标的相关系数

项目	GP	GR	GI	VI
浸泡 4 h 含水率	0.09	0.09	0.28	-0.25
浸泡 8 h 含水率	0.15	0.16	0.28	-0.26
浸泡 12 h 含水率	0.11	0.12	0.23	-0.28
浸泡 24 h 含水率	0.86**	0.84**	0.88**	0.49
氨基酸外渗量	-0.02	-0.08	-0.12	-0.35
DHA 活性	0.83**	0.82**	0.67**	0.73**
POD 活性	0.80**	0.79**	0.79**	0.65**
•OH 清除速率	0.85**	0.83**	0.86**	0.48
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 含量	0.76**	0.72**	0.62*	0.51*
Pro 含量	0.84**	0.84**	0.76**	0.78**
可溶性糖含量	0.54*	0.58*	0.53*	0.65**
可溶性蛋白含量	0.25	0.28	0.27	0.06

注:\*表示在  $P\leq 0.05$  水平存在显著相关;\*\*表示在  $P\leq 0.01$ 水平存在极显著相关。

3 讨论

从本研究结果可知,老化后的 3 个品种的种子在浸泡 12 h 以后开始表现差异,老化时间越长,吸水能力越差。上述现象出现的原因可能是在种子刚进入吸水阶段是吸胀吸水,活力高低都不影响吸水,随细胞水合程度增加,活力高的种子细胞内与萌发相关的基因开始表达、酶等恢复活性、蛋白质分解,为胚的发育提供营养、降低细胞水势,胚细胞的吸水能力进一步加强,而老化后的种子生理生化反应受到抑制,表现为吸水能力缓慢,加之细胞膜等受到损伤,分解后的氨基酸等营养物质不能及时利用而外渗出去。

种子吸胀早期,能够产生 ROS,并且 ROS 与种子活力呈正相关<sup>[18]</sup>。自由基的攻击会使脂膜发生过氧化反应,活性氧积累会增加脂膜过氧化的程度<sup>[19]</sup>。本试验中,3 个玉米品种种胚中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量随老化时间延长呈下降趋势,这和张东等<sup>[20]</sup>研究结果一致。种子经过老化 4 d 的•OH 清除速率才开始显著低于对照,说明短时间老化对种子影响较小,长时间老化种子的•OH 清除明显受到抑制。与敏感型品种相比,耐老化品种种胚中 POD 活性保持较高水平且老化后下降缓慢。

可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸是渗透胁迫时良好的调节物质,可以调控细胞中 ROS 的平衡,稳定组织内的代谢进程<sup>[21-22]</sup>。本研究中,短时间老化的种子中可溶性糖、可溶性蛋白没有降低,可能是短期老化对种子的调节物质影响较小,其具有一定自我修复作用,还可以发挥作用,长期老化会破坏其结构,使其分解。脯氨酸受老化程度影响较大,暂短老化也会使其受到抑制。

DHA 活性是种子呼吸作用中的主要酶类,是衡量种子活力的重要指标<sup>[23]</sup>。张海艳<sup>[24]</sup>对糯玉米、王春莲等<sup>[25]</sup>对玉米杂交种老化的研究中发现随种子老化程度加深,DHA 活性均降低,本研究结果与前人研究相同,但是锦源 338 和元华 116 都具有较高的 DHA 活性,而锦源 338 并没有表现较好的耐老化能力,可能是在其他性状上表现较差的原因。

通过不同老化处理玉米种子活力与生理指标的相关分析,在测定指标中,DHA 活性、POD 活性及 Pro 含量与种子活力呈极显著相关,即可以通过测定这个生理指标判定种子的活力水平及耐贮性。

4 结论

老化时间的延长会破坏种子生物膜的完整性,致使活性氧积累,酶活性降低,代谢物质渗出和降解,最终影响种子活力,且不同活性的种子间存在一定的差异。老化种子的吸水能力在 12~24 h 受到抑制。活力强的种子氨基酸外渗量较低。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量和•OH 清除速率随老化时间延长呈下降趋势。随老化时间延长,种胚内的可溶性糖、Pro 含量、DHA 活性及 POD 活性出现不同程度下降,活力强的种子仍能保持较高调节物质含量及酶活性。DHA 活性、POD 活性及 Pro 含量与种子活力呈极显著相关,故可通过测定这些生理指标判定种子的活力水平及耐贮性。

参考文献:

[1] 高云,纪高洁,矫健.中国玉米种子市场供需分析[J].中国种业,2018(10):4-8.  
[2] 李继军.中国玉米种业的现状与未来发展预测[J].种子世界,2018(7):15-18.  
[3] 颜启传.种子学[M].北京:中国农业出版社,2001,110-116.  
[4] MURTHY U M N,KUMAR P P,SUN W Q. Mechanisms of seed ageing under different storage conditions for *Vigna radiata* L. Wilczek: Lipid peroxidation, sugar hydrolysis,

- Maillard reactions and their relationship to glass state transition[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(384): 1057-1067.
- [5] 孔令琪. 不同老化处理对燕麦种子生理、蛋白质及抗氧化基因的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [6] 许海锦. 人工老化对大豆种子脂质及抗氧化系统的影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
- [7] 王鹤冰. 人工老化芥菜种子生理生化变化及基因组 DNA 损伤的 ISSR 研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [8] 姜汇. 人工老化对少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus* B.) 异型性种子生理生化特性的影响[D]. 通辽: 内蒙古民族大学, 2018.
- [9] 马向丽, 何超, 罗富成, 等. 人工老化对纳罗克非洲狗尾草种子活力、生理生化指标的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(5): 1047-1054.
- [10] 王玉娇, 吴薇, 郭忠军, 等. 小麦种子老化处理对发芽指标及根系的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(12): 2423-2430.
- [11] 孙守江, 祁娟, 金鑫, 等. 人工老化对老芒麦种子生理生化特性及醇溶蛋白组成的影响[J]. 草原与草坪, 2019, 39(1): 83-89.
- [12] 鲜莹, 齐传东, 陈琦, 等. 人工老化处理对菠菜种子生理生化指标及萌发相关基因表达量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(3): 45-53.
- [13] 邓杰, 孔祥飞, 吴珊珊, 等. 老化处理对不同活力玉米种子萌发及幼苗期生长的影响[J]. 种子, 2021, 5(40): 39-44.
- [14] 尹燕桦, 董学会. 种子学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 80-83, 97.
- [15] 颜军, 苟小军, 邹全付, 等. 分光光度计法测定 Fenton 反应产生的羟基自由基[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2009, 28(2): 91-93.
- [16] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 305-306.
- [17] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 86-88.
- [18] 刘学俊. 种子中活性氧产生机制及其在种子活力快速检测中应用的研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2008.
- [19] BAILLY C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology[J]. Seed Science Research, 2004, 14(2): 93-107.
- [20] 张东, 张凤兰, 郝丽珍, 等. 人工老化对沙葱种子中活性氧与超微弱发光的影响[J]. 种子, 2019, 38(10): 1-5, 13.
- [21] IRINA J, LUMINITA C, DACIAN L, et al. Aspects regarding the production and quality of some annual forage mixtures[J]. Journal of Biotechnology, 2012, 161: 19-20.
- [22] EVERS D, LEFEVRE I, LEGAY S, et al. Identification of drought-responsive compounds in potato through a combined transcriptomic and targeted metabolite approach[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61: 2327-2343.
- [23] 马平安. 人工老化对玉米种子活力影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- [24] 张海艳. 糯玉米种子老化过程中种子活力和生理特性的变化[J]. 玉米科学, 2015, 23(1): 92-96, 102.
- [25] 王春莲, 鞠方成. 玉米杂交种老化过程中种子活力及生理特性的变化研究[J]. 种子, 2019, 38(10): 97-100.

## Effects of Aging Treatment on Physiological Characteristics of Maize Seeds with Different Vigor

WANG Zhen<sup>1</sup>, DENG Jie<sup>2</sup>, GAO Shu-ren<sup>2</sup>, FAN Jing-sheng<sup>1</sup>, LIAN Yong-li<sup>1</sup>, QU Zhong-cheng<sup>1</sup>, XU Ting<sup>1</sup>, ZHAO Bai-ren<sup>1</sup>

(1. Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161000, China; 2. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

**Abstract:** In order to study the correlation between physiological indexes and seed vigor in aging seeds, the method of artificial accelerated aging with high temperature and high humidity was used to treat 3 maize hybrids with different vigor, changes in physiological and biochemical indicators such as the water absorption characteristics of maize seeds, extravasation substances, ROS, important enzymes and regulatory substances under different aging treatments were determined. The results showed that the water absorption capacity of the seeds was gradually inhibited after swelling for 12-24 h as the aging degree deepened. The vigorous seeds had low amino acid extravasation. The content of  $H_2O_2$  and the removal rate of  $\cdot OH$  showed downward trend with the aging time, and there was no significant difference among different vigor seeds. As the aging time prolonged, the soluble sugar, Pro content, DHA activity and POD activity in the embryos decreased to varying degrees, and the vigorous seeds still could maintain higher regulatory substance content and enzyme activity. DHA activity, POD activity and Pro content were extremely significantly correlated with the four indexes of seed vigor. So maize seed vigor level and storage tolerance could be determined by measuring these physiological indicators.

**Keywords:** maize seed; aging treatment; water absorption characteristics of seed; physiological characteristics; amino acid extravasation content; enzymes and osmotic adjustment substances