

祝煜中, 夏黎明, 竺思仪, 等. 人工老化的甜玉米种子活力、生理特性和遗传多样性的变化[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(1): 25-30.

人工老化的甜玉米种子活力、生理特性和遗传多样性的变化

祝煜中[†], 夏黎明[†], 竺思仪, 刘继辉, 杨瑞春, 王青峰, 李小琴, 冯发强
(华南农业大学 农学院/广东省植物分子育种重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】研究人工老化处理对甜玉米 *Zea mays* L. *saccharata* Sturt. 种子活力、生理特性和遗传多样性的影响, 为甜玉米种子贮藏及大田生产提供参考。【方法】以甜玉米品种‘农甜 88’和‘农甜 99’为试验材料, 采用人工老化的方法处理玉米种子, 沙床发芽法检测种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数。测定了种子的脱氢酶 (Dehydrogenase, DHA) 活性、过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性、相对电导率 (Relative electrical conductivity, REC) 和丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量, 采用 SRAP 标记检测不同处理时间种子的遗传多样性, 分析种子生理指标和遗传多样性与种子活力的关系。【结果】随老化时间的增加, 2 个品种种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、DHA 活性和 POD 活性逐渐降低, 而 REC 和 MDA 含量则逐渐升高。老化处理 6 d 后, ‘农甜 88’和‘农甜 99’种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、DHA 活性、POD 活性分别比对照下降 18.32% 和 43.15%、10.73% 和 15.38%、19.43% 和 23.60%、41.85% 和 45.70%、69.78% 和 71.74%、52.02% 和 71.60%; 浸泡 24 h 的 REC 分别比对照提高了 33.68% 和 27.68%, MDA 含量分别比对照提高了 41.50% 和 47.08%。老化处理使种子的遗传多样性下降, 老化处理 6 d 后, ‘农甜 88’和‘农甜 99’等位基因数、有效等位基因数、基因多样性分别比对照下降 29.35% 和 23.58%、25.00% 和 20.00%、96.99% 和 83.35%。相关性分析发现, 2 个品种老化种子浸出液的 REC 和 MDA 含量均与种子活力各性状呈显著或极显著负相关, DHA 和 POD 活性均与种子活力各性状呈显著或极显著正相关。【结论】随老化时间的增加, 2 个甜玉米品种种子的活力以及 DHA、POD 活性逐渐降低、REC 和 MDA 含量逐渐升高; 种子老化处理降低了种子遗传物质的多样性; ‘农甜 88’种子耐老化能力强于‘农甜 99’。

关键词: 甜玉米; 人工老化; 种子活力; 生理特性; 遗传多样性
中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-411X(2018)01-0025-06

Changes of vigor, physiological characteristics and genetic diversities of artificially aged sweet corn seeds

ZHU Yuzhong[†], XIA Liming[†], ZHU Siyi, LIU Jihui, YANG Ruichun, WANG Qingfeng, LI Xiaoqin, FENG Faqiang
(College of Agriculture, South China Agricultural University/Guangdong Provincial Key Laboratory of Plant Molecular Breeding, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To identify the effects of artificial aging on vigor, physiological characteristics and genetic diversities of sweet corn (*Zea mays* L. *saccharata* Sturt.) seeds, and provide a reference for sweet corn seed storage and field production. 【Method】‘Nongtian88’ and ‘Nongtian99’ were selected as experimental materials and their seeds were treated using the method of artificial aging. The germination potential, germination

收稿日期: 2017-06-21 优先出版时间: 2017-12-29
优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20171229.1142.032.html>
作者简介: 祝煜中 (1993—), 男, 硕士研究生, E-mail: yuzhongzhu@foxmail.com; 夏黎明 (1993—), 男, 硕士研究生, E-mail: xialiming1234567@sina.com; [†]对本文贡献相同; 通信作者: 冯发强 (1976—), 男, 助理研究员, 博士, E-mail: fengfq@scau.edu.cn
基金项目: 广东省科技计划项目 (2015A020209113); 广州市科技计划项目 (201607010248)

rate, germination index and vigor index were measured using the method of germination in sand bed. The dehydrogenase (DHA) activity, peroxidase (POD) activity, relative electrical conductivity (REC) and malondialdehyde (MDA) content of artificially aged seeds were measured. The genetic diversity of artificially aged seeds was detected using SRAP, and the relationships between physiological characteristics, genetic diversities and seed vigor were analyzed. 【Result】 With the increase of aging time, seed germination potentials, germination rates, germination indexes, vigor indexes, DHA activities and POD activities of two cultivars decreased gradually, while the RECs and MDA contents increased gradually. Compared to the control (CK), the germination potentials, germination rates, germination indexes, vigor indexes, DHA activities and POD activities of ‘Nongtian88’ and ‘Nongtian99’ seeds decreased by 18.32% and 43.15%, 10.73% and 15.38%, 19.43% and 23.60%, 41.85% and 45.70%, 69.78% and 71.74%, 52.02% and 71.60% respectively after aging treatment for six days. The RECs of ‘Nongtian88’ and ‘Nongtian99’ seeds after soaking for 24 hours increased by 33.68% and 27.68% respectively than that of CK, and MDA contents increased by 41.50% and 47.08% respectively than that of CK. Compared to CK, the seed genetic diversities decreased after artificial aging treatment, the allele numbers, effective allele numbers and gene diversities of ‘Nongtian88’ and ‘Nongtian99’ seeds decreased by 29.35% and 23.58%, 25.00% and 20.00%, 96.99% and 83.35% respectively after aging treatment for six days. The correlation analysis showed that the RECs and MDA contents of aged seeds of two cultivars were significantly or highly significantly negatively correlated with vigor indexes, while DHA and POD activities were significantly or highly significantly positively correlated with seed vigor indexes. 【Conclusion】 With the increase of artificially aging time, the seed vigor indexes, DHA and POD activities of two sweet corn cultivars decrease gradually, while the RECs and MDA contents increase gradually. Artificial aging results in the decrease of seed genetic diversity. ‘Nongtian88’ seed has stronger aging resistant ability than ‘Nongtian99’.

Key words: sweet corn; artificial aging; seed vigor; physiological characteristic; genetic diversity

甜玉米 *Zea mays* L. *saccharata* Sturt. 是玉米胚乳淀粉合成基因发生隐性突变形成的特殊玉米类型,我国从 20 世纪 80 年代开始引进并有计划有规模地进行甜玉米育种与生产^[1]。近年来,我国的甜玉米种植面积迅速扩大,据统计至 2012 年全国种植面积约有 32.3 万 hm^2 ,成为广东、广西、浙江和云南等南方地区的重要优势作物,面积和产量均居世界第 2^[2],近年来种植面积仍不断攀升。种子活力 (Seed vigor) 是种子质量的重要指标,一般种子达到生理成熟时,其活力也达到了最高点,随后便开始了不同程度的活力下降,直至丧失或死亡,这种伴随着贮藏时间的增加发生、发展的自然不可逆过程,叫种子老化^[3]。已有一些有关甜玉米种子活力的相关报道,樊龙江等^[4]对甜玉米种子活力低下的因素进行了分析,认为种子引发和包衣等技术有利于提高甜玉米种子活力。徐秀兰等^[5]研究认为甜玉米种子携带的真菌与活力关系密切。王青峰等^[6]发现超甜玉米种子活力的广义遗传力和狭义遗传力均较高,13 个自交系亲本的广义遗传力值均达到极显著水平。Styer 等^[7]对 4 种类型的玉米 (*brittle-1*、*shrunk-2*、*sugar* 和 *normal*) 种子活力进行了差异

分析,发现 *sh₂* 型种子活力最低,在逆境条件下发芽表现最差。欧阳西荣等^[8]发现老化种子对玉米幼苗生长和植株发育均有影响,老化种子植株比高活力种子植株产量低。我国种植的甜玉米类型大多是 *sh₂sh₂* 基因型,成熟种子淀粉含量少、制种产量低、不易贮藏、价格高,随着甜玉米种植面积日益扩大,而农村劳力减少,因此提高种子活力,简化栽培措施十分必要。本研究以 2 个甜玉米品种为材料,采用人工加速老化法分析老化处理对甜玉米种子生理特性的影响,为甜玉米种子贮存及大田生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试甜玉米品种为 ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’,由华南农业大学玉米实验室提供的当年制种的新杂交种子。

1.2 试验方法

1.2.1 人工老化处理 将每个品种种子取 3 000 粒置于纱网袋,薄层平铺放于老化箱中网架上,以 41 ℃、相对湿度 90% 的条件进行人工加速老化处

理, 老化处理时间分别为 0(对照)、1、2、3、4、5、6 d, 共 7 个处理。老化结束后, 将种子取出风干至原质量。

1.2.2 发芽试验 将过 2 mm 孔径筛的河沙用清水冲洗后 130 ℃ 烘干 5 h, 然后按照标准发芽方法进行发芽试验, 于光照培养箱中 25 ℃、全光照条件下沙培发芽, 将种子播于 4 cm 深的沙床发芽盒, 盖沙 2 cm, 4 d 后统计发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数^[9]。

1.2.3 生理指标测定 称取老化处理 0、2、4 和 6 d 的 2 个甜玉米品种种子各 10 g 测定其电导率。称取的老化后种子用自来水冲洗 3 次, 滤纸吸干后放入 15 mL 的刻度试管中加双蒸水 10 mL, 加塞后静置于 25 ℃ 恒温培养箱。在室温条件下用电导仪测定浸泡 4、8、12 和 24 h 的种子浸出液电导率, 测完后放入沸水中煮沸 10 min, 冷却至室温测定绝对电

导率, 按下式计算相对电导率 (REC):

$$REC = \frac{\text{煮沸前浸出液电导率}}{\text{绝对电导率}} \times 100\%。$$

参照胡晋^[10]TTC 改进法测定脱氢酶 (Dehydrogenase, DHA) 活性, 用愈创木酚法测定过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性^[11], 以 1 min 内 $D_{470\text{ nm}}$ 变化 0.01 作为 1 个酶活性单位 (U)。剥取萌发 1 d 的的玉米种子胚 (不同老化处理时间均 10 粒), 采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量^[11]。

1.2.4 SRAP 标记多样性分析 DNA 的提取采用 CTAB 法。按照 Li 等^[12]提出的经典引物, 由上海生工合成, 引物组合见表 1。PCR 体系和 PCR 反应条件参照文献^[13]。PCR 产物用体积分数为 6% 变性的聚丙烯酰胺凝胶电泳, 银染显色, 以 1 和 0 记录带的有和无。

表 1 多样性分析采用的 SRAP 引物名称及序列
Tab. 1 The SRAP primers and sequences for genetic diversity analyses

引物名称	正向引物序列	引物名称	反向引物序列
M1	TGAGTCCAAACCGGATA	E1	GACTGCGTACGAATTAAT
M2	TGAGTCCAAACCGGAGC	E2	GACTGCGTACGAATTTGC
M3	TGAGTCCAAACCGGAAT	E3	GACTGCGTACGAATTGAC
M4	TGAGTCCAAACCGGACC	E4	GACTGCGTACGAATTTGA
M5	TGAGTCCAAACCGGAAG	E5	GACTGCGTACGAATTAAC

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 和 SAS 9.2 软件进行表型数据方差及相关性分析, 使用 POPGENE VERSION 1.31 软件进行玉米群体内遗传多样性和遗传结构的分析^[14]。

2 结果与分析

2.1 甜玉米种子老化过程中种子活力的变化

不同老化处理时间的 ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数见表 2。由表 2 可知, 随老化处理时间的增加, 2 个甜玉米品种的种子活力相关指标均呈下降趋势。 ‘农甜 88’ 种子老化处理 0(对照) 和 1 d 时的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均维持在一个较高的水平; 老化处理 2 d 的种子除发芽率外其他指标均显著低于对照; 随着老化时间的延长, 各指标均显著降低, 老化处理 6 d 的种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数分别比对照降低了 18.32%、

10.73%、19.43% 和 41.85%, 活力指数降幅最大。 ‘农甜 99’ 在老化处理 0 和 1 d 时各指标均较高; 老化处理 2 d 的种子仅发芽率显著低于对照; 老化处理 3 d 的种子除发芽势外, 发芽率、发芽指数和活力指数均显著低于对照; 老化处理 6 d 的种子发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数分别比对照降低了 43.15%、15.38%、23.60% 和 45.70%, 活力指数降幅最大。 ‘农甜 88’ 表现出更强的耐老化能力。

2.2 甜玉米种子老化过程中 REC 的变化

由图 1 可知, 在种子老化和浸泡初期, 2 个甜玉米品种种子的 REC 与对照相比变化不明显; 随着老化和浸泡时间的增加, 2 个品种浸出液中内含物质外渗量均明显增多, REC 呈增加趋势。 2 个品种 REC 均在浸泡 4~8 h 期间上升缓慢, 浸泡 8 h 以后快速上升。 2 个品种老化处理 2 和 4 d 的 REC 差异不大, 处理 6 d 的相对电导率显著增加, 说明老化处理 6 d 时对种子细胞膜的结构破坏更大。相关性分析结果 (表 3) 表明, ‘农甜 88’ 种子不同浸泡时间

表 2 ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 经不同老化处理时间后种子活力指标比较¹⁾

Tab. 2 Comparisons of vigor indexes of ‘Nongtian88’ and ‘Nongtian99’ seeds after different aging time

品种	<i>t</i> _{老化} /d	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	活力指数
农甜88	0(对照)	94.67±0.04a	99.33±0.03a	4.58±0.12a	64.78±5.31a
	1	91.33±0.02ab	95.33±0.03ab	4.42±0.16ab	61.50±5.32a
	2	85.33±0.03bcd	92.00±0.02abc	4.08±0.09bc	49.05±1.59b
	3	87.00±0.01abc	92.00±0.00abc	4.07±0.05bc	48.73±0.32b
	4	84.67±0.01bcd	91.33±0.01abc	4.05±0.04bc	44.48±0.76bc
	5	82.00±0.02cd	86.00±0.02c	3.77±0.09c	43.63±1.80bc
	6	77.33±0.02d	88.67±0.02bc	3.69±0.11c	37.67±0.83c
农甜99	0(对照)	63.33±0.02a	95.33±0.01a	3.39±0.02a	59.28±2.39a
	1	59.33±0.04a	93.33±0.02a	3.29±0.06a	53.58±2.55ab
	2	56.67±0.01a	83.33±0.01b	3.05±0.05ab	45.88±3.74abc
	3	52.67±0.09a	83.33±0.05b	2.90±0.22bc	44.92±8.13bc
	4	52.67±0.01a	82.00±0.04b	2.89±0.12bc	40.39±4.48bc
	5	46.67±0.07ab	82.67±0.02b	2.75±0.12bc	39.33±2.24c
	6	36.00±0.03b	80.67±0.02b	2.59±0.04c	32.19±0.95c

1) 同一品种、同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示不同处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan’s 法)

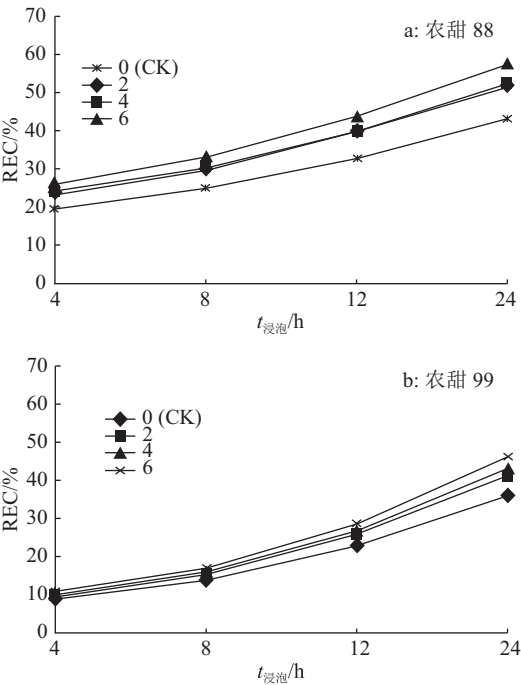


图 1 甜玉米种子老化后的相对电导率 (REC)

Fig. 1 Relative electrical conductivity rates of sweet corn seeds after different aging time

浸出液的 REC 与其发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均呈极显著负相关; ‘农甜 99’ 种子不同浸泡时间浸出液的 REC 与其发芽指数和活力指数呈极显著负相关, 与发芽势和发芽率相关性不显著。

2.3 甜玉米种子老化过程中 DHA 活性的变化

由图 2a 可知, 随着老化时间的增加, ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子 DHA 活性逐渐下降。老化

处理 0~1 d 的种子 DHA 活性下降速度较快; 老化 2~6 d 的种子下降速度相对一致; 老化处理 6 d, ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子 DHA 活性分别比对照下降了 69.78% 和 71.74%。由相关性分析结果(表 3)可知, ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子 DHA 活性与发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均呈极显著正相关, 说明 DHA 活性可作为检测种子活力的一个指标。

2.4 甜玉米种子老化过程中 POD 活性的变化

由图 2b 可知, 随着老化时间的增加, ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子 POD 活性逐渐下降。老化处理 1 d 时, ‘农甜 99’ 种子的 POD 活性下降明显快于 ‘农甜 88’; 老化处理 5 d 的 ‘农甜 88’ 种子的 POD 活性迅速下降; 老化处理 6 d 的农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子 POD 活性分别比对照降低了 52.02% 和 71.60%。表 3 的相关性分析表明, ‘农甜 88’ 种子 POD 活性与发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均呈极显著正相关, ‘农甜 99’ 种子 POD 活性与发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均呈显著或极显著正相关, 说明 POD 活性可作为检测种子活力的一个指标。

2.5 甜玉米种子老化过程中 MDA 含量的变化

由图 2c 可知, 随着老化时间的增加, ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子 MDA 含量呈逐渐上升的趋势。老化处理 6 d 的 ‘农甜 88’ 和 ‘农甜 99’ 种子 MDA 含量分别比对照提高了 41.50% 和

表 3 老化处理后甜玉米种子发芽指标与生理指标的相关性¹⁾

发芽指标	品种	不同浸泡时间的 REC				DHA活性	POD活性	MDA含量
		4 h	8 h	12 h	24 h			
发芽势	农甜88	-0.990 11**	-0.993 55**	-0.992 41**	-0.995 62**	0.951 64**	0.956 29**	-0.937 54**
	农甜99	-0.931 71	-0.923 28	-0.918 10	-0.917 32	0.899 76**	0.891 85**	-0.987 84**
发芽率	农甜88	-0.993 74**	-0.992 91**	-0.995 00**	-0.992 03**	0.938 93**	0.927 39**	-0.877 18**
	农甜99	-0.933 01	-0.943 27	-0.947 99	-0.946 30	0.898 27**	0.865 46*	-0.811 89*
发芽指数	农甜88	-0.993 04**	-0.996 02**	-0.995 56**	-0.997 84**	0.955 65**	0.963 71**	-0.948 29**
	农甜99	-0.996 02**	-0.993 06**	-0.991 23**	-0.991 78**	0.956 06**	0.929 07**	-0.963 55**
活力指数	农甜88	-0.998 38**	-0.996 20**	-0.990 86**	-0.992 77**	0.952 10**	0.922 16**	-0.911 62**
	农甜99	-0.999 88**	-0.999 46**	-0.999 02**	-0.999 61**	0.970 92**	0.955 26**	-0.960 40**

1) “*”和 “**” 分别表示相关性达到 0.05 和 0.01 的显著水平

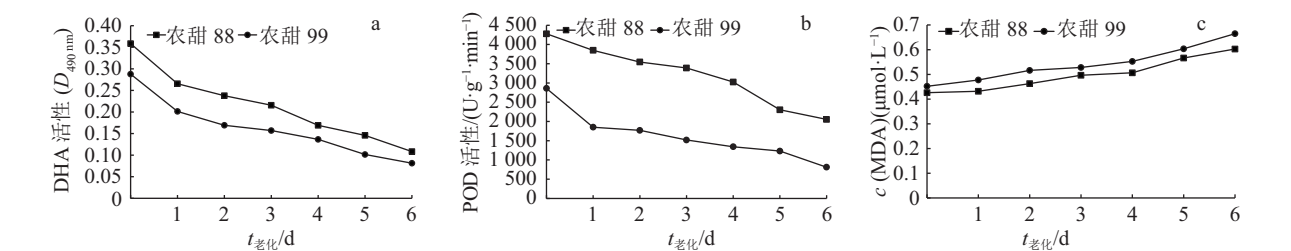


图 2 甜玉米种子老化后酶活性和 MDA 含量
Fig. 2 Enzyme activities and MDA content of sweet corn seeds after different aging time

47.08%，不同的老化处理时间，‘农甜 99’种子 MDA 含量均高于‘农甜 88’。表 3 相关性分析表明，‘农甜 88’种子 MDA 含量与发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均呈极显著负相关；‘农甜 99’种子 MDA 含量与发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均呈显著或极显著负相关。说明人工老化破坏了种子质膜的完整性，使质膜透性增大、种子活力和发芽能力降低，且不同品种种子膜脂过氧化程度耐受能力不同。

2.6 甜玉米老化过程中的基因多样性变化

遗传多样性分析结果(表 4)表明, 2 个甜玉米品种的等位基因数、有效等位基因数和基因多样性均随着老化时间的增加而下降。老化处理 3 d 的‘农甜 88’种子和老化处理 2 d 的‘农甜 99’种子等位基因数、有效等位基因数和基因多样性均比对照低; 与老化处理 1 d 相比, 老化处理 6 d 的‘农甜 88’种子和‘农甜 99’种子等位基因数、有效等位基因数和基因多样性分别下降 29.35% 和 23.58%、25.00% 和 20.00%、96.99% 和 83.35%。可见, 随着老化时间的增加, 甜玉米种子遗传多样性下降, 部分带型在老化过程中丢失, 种子遗传物质的完整性受到了破坏。

表 4 不同老化时间甜玉米种子的遗传多样性分析
Tab. 4 The genetic diversity analyses of sweet corn seeds after different aging time

品种	$t_{\text{老化}}/\text{d}$	等位基因数	有效等位基因数	基因多样性
农甜88	1	1.434 2	1.347 4	0.193 0
	2	1.421 1	1.336 8	0.187 1
	3	1.118 4	1.094 7	0.052 6
	4	1.065 8	1.052 6	0.029 2
	5	1.039 5	1.031 6	0.017 5
	6	1.013 2	1.010 5	0.005 8
农甜99	1	1.394 7	1.315 8	0.175 4
	2	1.289 5	1.231 6	0.128 7
	3	1.236 8	1.189 5	0.105 3
	4	1.223 7	1.178 9	0.099 4
	5	1.157 9	1.126 3	0.070 2
	6	1.065 8	1.052 6	0.029 2

3 讨论与结论

种子在贮存过程中, 种子活力随贮存时间增加而降低, 表现为发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数的降低。本试验中, 随老化时间的增加, 2 个甜玉米品种的种子发芽势等指标均降低, 在 4 个指标

中,发芽率下降幅度最小,而种子活力指数降低幅度最大,可见老化对种子活力的影响更大。欧阳西荣等^[8]研究发现,高活力种子发芽势强、活力指数高、幼苗鲜质量和干质量均较大、植株干物质积累速度较快、叶面积较大、每穗粒数较多且植株稍高。可见,种子活力与作物的营养生长及产量直接相关。本试验中‘农甜 99’种子活力较‘农甜 88’种子活力丧失更快,表明不同品种耐老化能力不同。不同耐老化能力的品种应选择不同的贮藏条件,以延缓种子老化、最大程度保留种子活力。甜玉米品种中存在种子活力差异的变异,可为选育种子活力高的甜玉米品种提供参考。

质膜受损是种子老化过程中主要生理变化之一,电导率测定是检测种子膜泄漏最普遍的方法。乔燕祥等^[15]研究发现,随着玉米种子活力降低,REC 升高,张海艳^[16]以糯玉米为材料得出了类似结论。本试验中,随着老化时间的延长,2 个甜玉米种子浸出液的 REC 均上升,‘农甜 88’的发芽势等 4 个发芽指标与 REC 均呈极显著负相关,‘农甜 99’的发芽指数和活力指数与 REC 呈极显著负相关。因此,REC 可作为检测甜玉米种子老化程度的指标之一。

种子老化过程中还伴随着一些生化酶活性的变化。汪晓峰等^[17]发现,老化的种子中磷脂、抗坏血酸含量以及 POD 活性低于正常种子,而自由氨基酸、MDA 含量及磷脂酶 A 活力高于正常种子,同时老化种子还伴随有结合脂的形成。刘建军等^[18]发现,玉米种子 POD 活性随着老化程度的加深而下降。本试验中,随老化时间的增加,DHA 和 POD 活性逐渐降低,MDA 含量升高,且这 3 个指标均与种子活力呈显著或极显著相关。因此,DHA、POD 活性及 MDA 含量也可作为衡量甜玉米种子老化程度的指标之一。

种子老化过程中膜类脂被氧化,一些降解酶如淀粉酶和蛋白酶等被释放,破坏种子内的遗传物质和贮藏物质。乔燕祥等^[19]对 Mo17 种子进行老化处理,发现老化后种子的部分 EST 同工酶谱丢失,染色体出现单桥、双桥、断片和落后等畸变类型。张晗等^[20]对糯玉米地方品种进行老化处理后发现品种群体内遗传多样性下降。本试验中,2 个甜玉米品种的等位基因数、有效等位基因数和基因多样性等均随着老化时间的增加而减少,表明种子老化处理破坏了种质资源遗传物质的完整性。

致谢:感谢华南农业大学农学院周玉亮博士对于本研究相关试验的帮助与指导!

参考文献:

- [1] 李小琴,王青峰.广东省甜玉米发展现状与对策探讨[J].作物杂志,2007(3): 32-34.
- [2] 罗军,万忠,谭俊,等.2013 年广东甜玉米产业发展形势与对策建议[J].广东农业科学,2014,41(5): 42-45.
- [3] 胡晋.种子学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2014.
- [4] 樊龙江,颜启传.甜玉米种子活力低下原因及其种子处理技术研究进展[J].中国农学通报,1996(6): 24-26.
- [5] 徐秀兰,吴学宏,张国珍,等.甜玉米种子携带真菌与种子活力关系分析[J].中国农业科学,2006,39(8): 1565-1570.
- [6] 王青峰,宫庆友,沈凌云,等.超甜玉米种子活力研究[J].种子,2007,26(6): 4-7.
- [7] STYER R C, CANTLIFFE D J. Dependence of seed vigor during germination on carbohydrate source in endosperm mutants of maize[J]. Plant Physiol, 1984, 76(1): 196-200.
- [8] 欧阳西荣,徐辉,李丽.种子老化对玉米幼苗生长和植株发育的影响[J].中国农学通报,2002,18(6): 31-35.
- [9] 张海艳.低温对鲜食玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J].植物生理学报,2013,49(4): 347-350.
- [10] 胡晋.对种子活力测定方法: TTC 定量法的改进[J].种子,1986(Z1): 71-72.
- [11] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [12] LI G, QUIROS C F. Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: Its application to mapping and gene tagging in *Brassica*[J]. Theor Appl Genet, 2001, 103(2): 455-461.
- [13] 赵炜,刘冠明,王晓明,等.应用 SRAP 标记分析甜玉米自交系的遗传差异[J].玉米科学,2007,15(S1): 154-156.
- [14] YEH F, YANG R, BOYLE T, et al. POPGENE, the user-friendly shareware for population genetic analysis [M]. Edmonton: Molecular Biology and Biotechnology Centre, University of Alberta, Canada, 1997.
- [15] 乔燕祥,高平平,马俊华,等.两个玉米自交系在种子老化过程中的生理特性和种子活力变化的研究[J].作物学报,2003,29(1): 123-127.
- [16] 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.
- [17] 汪晓峰,丛滋金.膜质变等生化变化与玉米种子老化[J].种子,1993(1): 68-69.
- [18] 刘建军,马俊华,孟俊文,等.玉米种子老化过程中抗氧化酶活性的变化[J].山西农业科学,2013,41(9): 907-910.
- [19] 乔燕祥,高平平,王果萍,等.玉米种子老化过程中 EST 同工酶变化与染色体畸变的研究[J].植物遗传资源学报,2003,4(2): 114-118.
- [20] 张晗,卢新雄,张志娥,等.种子老化对玉米种质资源遗传完整性变化的影响[J].植物遗传资源学报,2005,6(3): 271-275.

【责任编辑 周志红】

<http://xuebao.scau.edu.cn>