

沙葱种子贮藏陈化过程中的生理生化应答反应

常海文, 张凤兰, 杨忠仁, 孔德娟, 郑清岭, 郝丽珍*

内蒙古农业大学农学院, 内蒙古自治区野生特有蔬菜种质资源与种质创新重点实验室, 呼和浩特010019

摘要: 以室温贮藏1~8年的沙葱种子为试材, 研究贮藏陈化对其萌发、抗氧化系统及物质含量的影响。结果表明, 随贮藏时间延长, 萌发指标, 超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽还原酶(GR)活性, 可溶性蛋白质、糖和维生素C (VC)含量均为先升后降, 而丙二醛(MDA)含量、超氧阴离子(O_2^-)产生速率和LOX活性为先降后升; 萌发后, O_2^- 产生速率、过氧化物酶(POD)和脂氧合酶(LOX)活性、可溶性蛋白质和VC含量逐渐降低, 而SOD、APX、CAT、GR活性和MDA、可溶性糖含量逐渐增加。萌发特性与SOD、CAT、GR活性和可溶性糖、可溶性蛋白质含量呈显著正相关, 与 O_2^- 产生速率和LOX活性呈显著负相关, 贮藏过程中与MDA含量无显著相关性。

关键词: 沙葱; 种子; 贮藏陈化; 生理生化变化; 应答反应

Physiological and Biochemical Responses of *Allium mongolicum* Seeds to Storage Aging

CHANG Hai-Wen, ZHANG Feng-Lan, YANG Zhong-Ren, KONG De-Juan, ZHENG Qing-Ling, HAO Li-Zhen*

Inner Mongolia Key Laboratory of Germplasm and Germplasm Enhancement of Wild and Special Vegetable, College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China

Abstract: The effects of storage ageing on germination index, antioxidant system and the content of several substances of the *Allium mongolicum* seeds stored for 1 year to 8 years were investigated. The results showed that the germination index, activities of superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT) and glutathione reductase (GR), and contents of soluble protein, soluble sugar and vitamin C (VC) increased at first, then decreased with the extension of storage time. Malondialdehyde (MDA) content, superoxide anion radical (O_2^-) generation rate and lipoxygenase (LOX) activity decreased firstly, then increased with the extension of storage time. After germination, the generation rate of O_2^- , the activities of peroxidase (POD) and LOX, and the contents of soluble protein and VC decreased, but the activities of SOD, APX, CAT and GR and the contents of MDA and soluble sugar increased with the extension of germination time. The germination index had a significant positive correlation with the activities of SOD, CAT and GR and the contents of soluble sugar and protein, had a significant negative correlation with O_2^- generation rate and LOX activity, and had no significant correlation with MDA content of the seed during storage.

Key words: *Allium mongolicum*; seeds; storage aging; physiological and biochemical changes; responses

种子贮藏是物种多样性和遗传多样性保护的重要手段, 它不仅有利于品种资源保存, 还可防止一个品种育成后在时代更换过程中受环境条件的影响而带来的变异。由于种子所具有的内在的适应环境的微妙机制和完善的保护结构, 它已经成为植物种质资源保存的主体, 目前, 世界上库存约610万份种质资源中, 大约90%是以种子的形式保存在基因库中(McCouch等2012)。种子具有优良品质是保证作物出苗早、齐、壮、健的先决条件, 种子作为活的有机体, 随贮藏时间的延长和贮藏条件的变化而逐渐老化, 从而给农业生产带来巨

大经济损失。种子老化后, 表现为绿色光合器官的衰老(蒯本科2014), 发芽率也大为降低。例如, 老芒麦种子的相对发芽势、发芽率、发芽指数(GI)和活力指数(VI)随着老化时间延长均降低, 种子活力减弱(周国栋2012)。相似的结果在麻黄(李

收稿 2015-03-01 修订 2015-06-23

资助 农业部公益性行业科研专项经费项目(201203004)、国家自然科学基金(31260474、30660110)、内蒙古自然科学基金(2010MS0301、2015MS0362)。

* 通讯作者(E-mail: haolizhen_1960@163.com; Tel: 0471-4318467)。

胜等2007)、油菜(曾钦薇和谢永俊2012)、红麻(戴志刚等2012)等种子中也有报道。种子的老化或劣变是由内外环境因子共同调节的,发生在细胞、组织、器官和个体等多个层面上的衰退和死亡过程(黄冬梅等2014)。目前,国内外关于种子老化及劣变机理的研究已有报道(陈信波1989; Tatic等2012; Balesevic-Tubic等2011; Shaban和Motlagh 2014; Zhang等2012)。朱世东和张志伟(1995)对老化的大葱、洋葱、甘蓝种子研究发现,过氧化氢酶(catalase, CAT)的活性与种子老化程度呈负相关,即老化程度越高, CAT的活性越低。孟祥林和李曙轩(1992)的研究表明,菜用大豆种子中过氧化物酶(peroxidase, POD)活性随老化时间增加而明显降低。

百合科(Liliaceae)葱属(*Allium*)的大多数植物种子寿命较短,如大葱、韭菜种子的贮藏年限一般仅为1~2年(唐萍等2011; 孟淑春等2007),生产上多用当年采收的种子作为播种材料。沙葱也属于百合科葱属,以种子繁殖为主,关于其贮藏陈化和寿命的研究目前尚未见报道,但在生产中发现贮藏3年的沙葱种子的出苗率和出苗整齐度较好,贮藏5年以上的种子仍有较高发芽率。因此,本文以贮藏1~8年的沙葱种子为材料,研究其贮藏陈化过程中生理生化变化,探讨沙葱种子寿命及其影响其寿命的因素,旨在为其种子的贮藏及生产用种提供理论依据及指导。

材料与方法

1 植物材料

以室温(15~20 °C)、含水量为7.39%的条件下密封贮藏1~8年的沙葱(*Allium mongolicum* Regel)种子为实验材料,以未经贮藏的为对照。

2 种子萌发及活力测定

将种子置于9 cm培养皿内,在19 °C黑暗条件的恒温培养箱中催芽,以种子露白记为萌发开始。每个培养皿放30粒种子,重复4次。每天记录萌发的种子数,第3天统计发芽势,第10天统计发芽率,并计算GI和VI(杨忠仁等2007)。GI= $\sum(Gt/Dt)$, Gt为t时间内的发芽数, Dt为相应发芽日数; VI=GI \times 苗重。

3 生理生化指标测定

以未萌发的干种子为对照,测定贮藏不同时

间种子及萌发1、3、10 d幼苗的生理生化指标。丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量采用硫代巴比妥法比色测定(李合生2000);超氧阴离子(superoxide anion radical, O₂⁻)产生速率采用比色法测定(李忠光和龚明2005);超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性测定采用氮蓝四唑法(孔祥生和易现锋2008);POD活性测定采用愈创木酚法(孔祥生和易现锋2008);抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)活性采用紫外分光光度法测定;CAT的活性采用紫外分光光度法测定(Mao等2012);谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase, GR)和脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)的活性参照Mao等(2012)的方法测定;可溶性糖含量用蒽酮比色法测定(韩建国和毛培胜2000);可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝G-250法测定(李合生2000);维生素C(vitamine C, VC)含量用2,6-二氯酚滴定法测定(李合生2000)。

4 数据处理

数据采用SAS 9.0进行ANOVA及相关性分析,并采用Excel 2003软件制图。其中ANOVA分析采用新复极差法(SSR),且发芽率和发芽势数值经反正弦转化后再进行方差分析;相关性分析采用最小显著差法(LSD)。

实验结果

1 贮藏陈化对沙葱种子萌发及活力的影响

由表1可知,随着贮藏时间的延长,沙葱种子的萌发指标和VI均呈现先上升后下降的趋势,在

表1 贮藏陈化对沙葱种子萌发和活力的影响

Table 1 Effects of storage aging on germination and vigor of *A. mongolicum* seeds

贮藏时间/年	发芽率/%	发芽势/%	GI	VI
0(对照)	73 ^{cd}	23 ^c	6.34 ^c	0.054 ^{cd}
1	74 ^{cd}	51 ^b	8.55 ^b	0.075 ^b
2	81 ^{bc}	58 ^b	8.63 ^b	0.088 ^{ab}
3	92 ^a	83 ^a	12.00 ^a	0.097 ^a
4	88 ^{ab}	55 ^b	8.41 ^b	0.059 ^c
5	80 ^{bc}	48 ^b	8.23 ^b	0.054 ^{cd}
6	64 ^d	51 ^b	6.80 ^{bc}	0.040 ^d
7	49 ^e	43 ^b	7.32 ^{bc}	0.041 ^d
8	34 ^f	2 ^d	2.14 ^d	0.014 ^e

不同小写字母表示在P<0.05水平上差异显著。

贮藏3年时达到最大。贮藏7年后的沙葱种子发芽率显著低于对照, 且已低于60%; 贮藏5年内的沙葱种子GI均显著高于对照, 贮藏8年的显著低于对照; 贮藏3年内的沙葱种子VI显著高于对照, 贮藏8年的显著低于对照。

2 贮藏陈化对沙葱种子抗氧化系统的影响

2.1 贮藏陈化对沙葱种子有害物质的影响

从图1可知, 贮藏1~8年的沙葱干种子, 随着贮藏时间的延长, 在贮藏的前3年其MDA含量呈现下

降的趋势, 之后随时间延长其变化趋于稳定; 而萌发1、3、10 d的种子MDA含量与 O_2^- 产生速率的变化均随着沙葱种子贮藏时间的延长, 呈现先降低后升高的变化趋势, 且在贮藏3年时达最低。同一贮藏时间不同萌发天数的沙葱种子, 在萌发过程中, 贮藏1年内的MDA含量在萌发初期变化不明显, 其他年份均显著高于对照, 且随着萌发时间的延长其含量迅速增加(图1-A); 而 O_2^- 产生速率萌发1 d时有所下降, 而后略有升高(图1-B)。

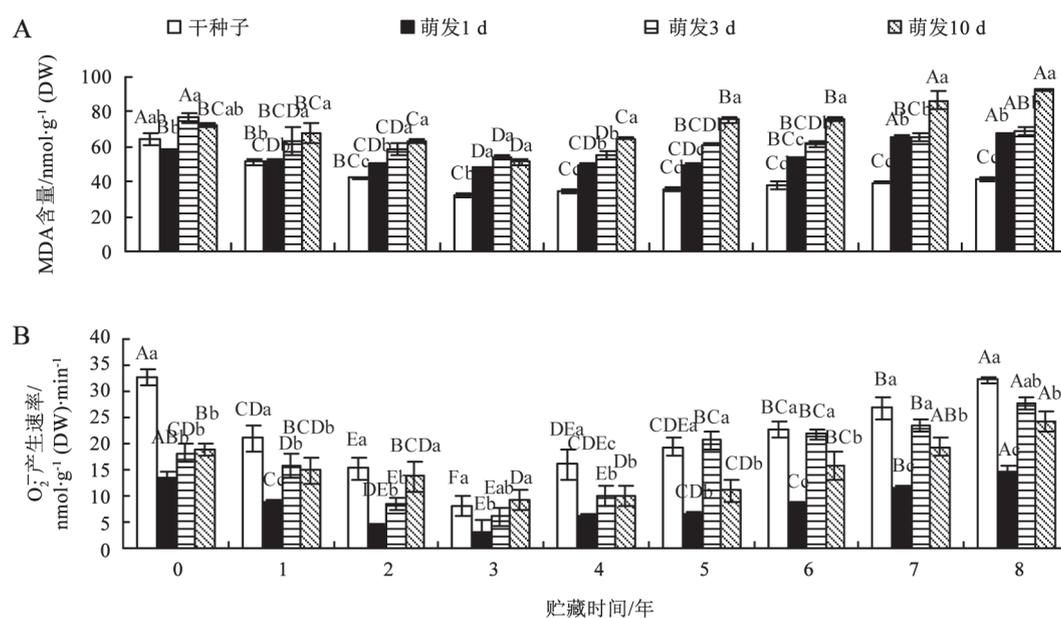


图1 贮藏陈化对沙葱种子中MDA含量与 O_2^- 产生速率的影响

Fig.1 Effects of storage aging on generation rate of O_2^- and MDA content in *A. mongolicum* seeds

不同大写字母表示不同贮藏时间同一萌发时间差异显著($P<0.05$); 不同小写字母表示在相同贮藏时间不同萌发时间内差异显著($P<0.05$)。图2和3同此。

2.2 贮藏陈化对沙葱种子保护酶类的影响

由图2可知, 不同贮藏时间的沙葱种子中SOD、APX、CAT和GR活性均随着贮藏时间的延长呈现先升高后降低的变化趋势, POD活性先降低, 再升高, 之后又下降, LOX活性先降低后升高。贮藏3年时, SOD、APX、CAT和GR活性达最高, LOX活性则达最低; 贮藏6年时, POD活性达最高。同一贮藏时间不同萌发天数的沙葱种子, 在萌发过程中, SOD、APX和CAT活性均逐渐增加, 萌发3 d的种子中SOD活性显著高于对照, 萌发10 d的显著低于对照(图2-A); APX活性与对照相比差异不显著(图2-B); CAT活性在种子萌发1 d时显著

高于对照, 在萌发3和10 d时显著低于对照(图2-C); POD活性逐渐降低, 贮藏2年内的种子不同萌发天数差异不显著, 贮藏3~8年的种子显著低于对照(图2-D); 除贮藏2年内的种子中GR活性与对照相比变化不显著外, 其他贮藏时间均显著高于对照, 随着萌发时间的延长迅速增加(图2-E); 除贮藏3年内的种子中LOX活性与对照相比变化不显著外, 其他贮藏时间的均显著低于对照, 且随着萌发时间的延长迅速降低(图2-F)。

3 贮藏陈化对可溶性糖、可溶性蛋白质和VC含量的影响

由图3可知, 不同贮藏时间的沙葱种子中可溶

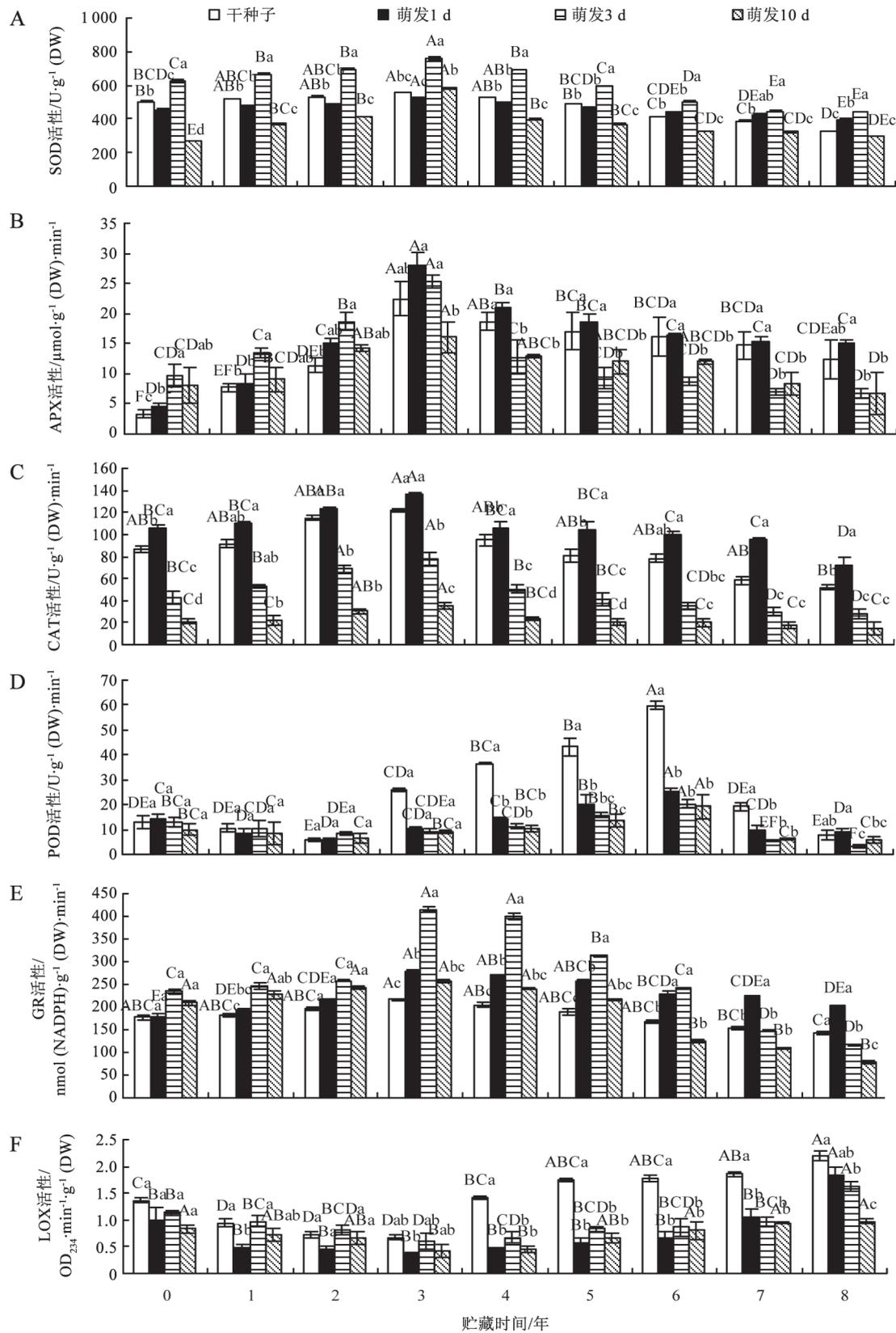


图2 贮藏陈化对沙葱种子中SOD、POD、APX、CAT、GR和LOX活性的影响

Fig.2 Effects of storage aging on activities of SOD, POD, APX, CAT, GR and LOX in *A. mongolicum* seeds

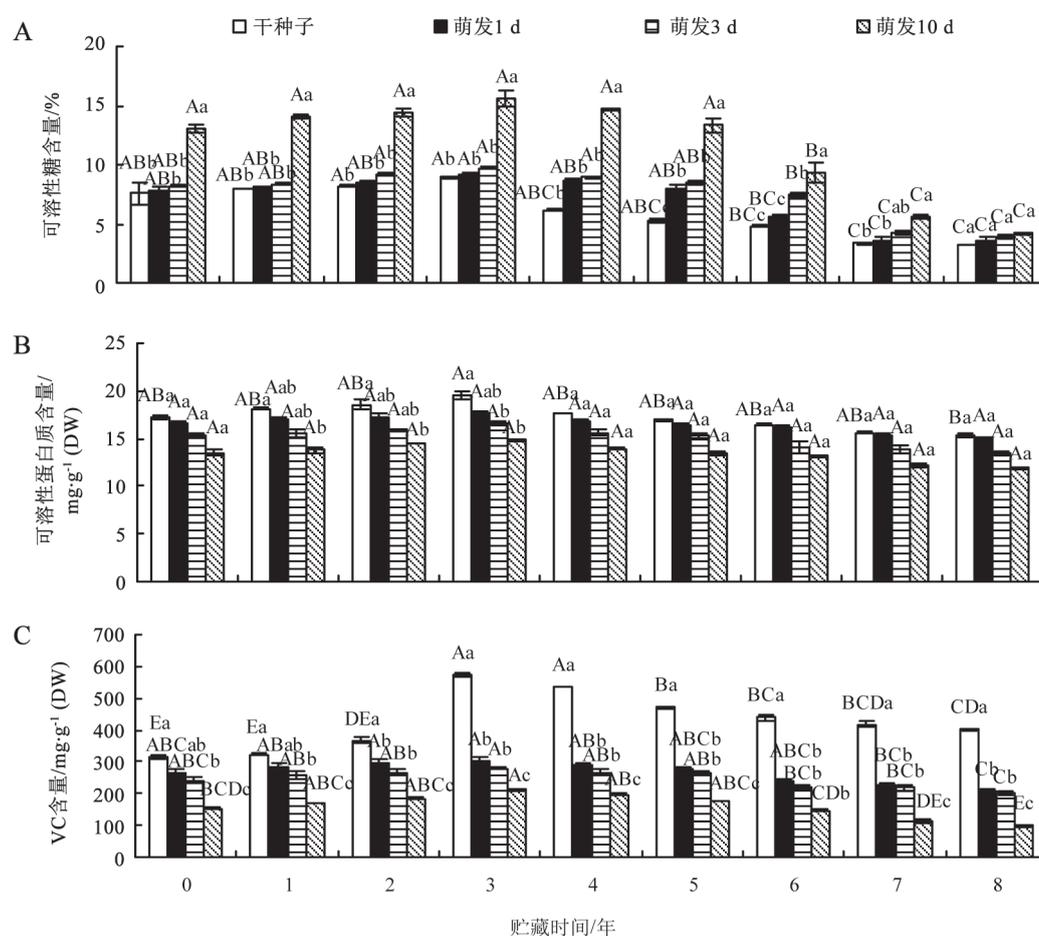


图3 贮藏陈化对沙葱种子中可溶性糖、可溶性蛋白质和VC含量的影响

Fig.3 Effects of storage aging on the contents of soluble sugar, soluble protein and VC in *A. mongolicum* seeds

性糖、可溶性蛋白质和VC含量均随着贮藏时间的延长, 呈现先升高后降低的变化趋势, 在贮藏3年时, 均达最大。同一贮藏时间不同萌发天数的沙葱种子, 在种子吸水萌发过程中, 可溶性糖含量逐渐升高, 萌发10 d的种子中可溶性糖含量显著高于对照, 萌发1和3 d的种子差异不显著(图3-A); 可溶性蛋白质含量呈下降趋势, 但与对照相比差异不显著(图3-B); VC的含量也呈下降的趋势, 且显著低于对照(图3-C)。

4 沙葱种子贮藏陈化过程中各指标间的相关关系分析

由表2可知, 在沙葱种子贮藏陈化过程中, 种子的萌发特性与SOD、CAT、GR活性和可溶性糖、可溶性蛋白质含量呈显著正相关关系, 与O₂⁻产生速率和LOX活性呈显著负相关性, 与POD、APX活性和MDA、VC含量无显著相关性; 种子吸

水萌发10 d时, 种子的萌发特性与SOD、CAT、GR、APX活性和VC、可溶性糖、可溶性蛋白质含量呈显著正相关关系, 与O₂⁻产生速率、LOX活性、MDA含量呈显著负相关性, 与POD活性无显著相关性。由此可以看出, 沙葱种子在贮藏陈化过程中, 种子的活力与抗氧化酶系统及贮藏物质关系密切, 且萌发后的沙葱种子活力与抗氧化酶系统和贮藏物质的相关性高于干种子。

讨 论

1 MAD和O₂⁻在沙葱种子贮藏陈化中的作用

在种子贮藏陈化过程中, 随着贮藏时间的延长, 种子内部物质不断变化, 种子的活力和寿命不断降低。种子老化的原因很多, 其中细胞膜完整性的丧失是原因之一, 而过氧化物、自由基和膜脂过氧化代谢产物的产生是细胞膜完整性丧失的

表2 干种子(左下)及萌发10 d(右上)沙葱种子各指标间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of all the indicators of *A. mongolicum* seed (bottom left) and germinated seed at 10th day (top right)

相关系数	发芽率	发芽势	GI	VI	CAT	POD	APX	GR	LOX	SOD	O ₂ ⁻	MDA	VC	可溶性糖	可溶性蛋白
发芽率	1.000	0.790	0.857	0.846	0.788 [*]	0.237	0.797 [*]	0.953 ^{**}	-0.909 ^{**}	0.664 [*]	-0.930 ^{**}	-0.930 ^{**}	0.986 ^{**}	0.970 ^{**}	0.941 ^{**}
发芽势	0.790	1.000	0.959	0.830	0.822 ^{**}	0.222	0.879 ^{**}	0.677 [*]	-0.795 [*]	0.845 ^{**}	-0.880 ^{**}	-0.830 ^{**}	0.820 ^{**}	0.684 [*]	0.794 [*]
GI	0.857	0.959	1.000	0.896	0.838 ^{**}	0.115	0.802 ^{**}	0.792 [*]	-0.804 ^{**}	0.823 ^{**}	-0.880 ^{**}	-0.880 ^{**}	0.862 ^{**}	0.780 [*]	0.839 ^{**}
VI	0.846	0.830	0.896	1.000	0.922 ^{**}	-0.110	0.748 [*]	0.887 ^{**}	-0.748 [*]	0.784 [*]	-0.750 [*]	-0.930 ^{**}	0.862 ^{**}	0.858 ^{**}	0.94 [*]
CAT	0.894 ^{**}	0.790 [*]	0.824 ^{**}	0.950 ^{**}	1.000	-0.080	0.870 ^{**}	0.781 [*]	-0.794 [*]	0.897 ^{**}	-0.730 [*]	-0.920 ^{**}	0.839 ^{**}	0.751 [*]	0.917 ^{**}
POD	0.230	0.327	0.193	-0.150	-0.040	1.000	0.266	-0.010	-0.155	-0.080	-0.330	-0.090	0.186	0.153	0.087
APX	0.283	0.590 [*]	0.450	0.167	0.217	0.560 [*]	1.000	0.674 [*]	-0.854 ^{**}	0.839 ^{**}	-0.870 ^{**}	-0.820 ^{**}	0.851 ^{**}	0.687 [*]	0.832 ^{**}
GR	0.9760 ^{**}	0.811 ^{**}	0.864 ^{**}	0.871 ^{**}	0.925 ^{**}	0.152	0.391	1.000	-0.843 ^{**}	0.625 [*]	-0.830 ^{**}	-0.910 ^{**}	0.943 ^{**}	0.983 ^{**}	0.939 ^{**}
LOX	-0.772 [*]	-0.720 [*]	-0.790 [*]	-0.970 ^{**}	-0.940 ^{**}	0.284	-0.010	-0.800 ^{**}	1.000	-0.810 ^{**}	0.936 ^{**}	0.887 ^{**}	-0.960 ^{**}	-0.840 ^{**}	-0.860 ^{**}
SOD	0.966 ^{**}	0.719 [*]	0.831 ^{**}	0.903 ^{**}	0.910 ^{**}	-0.010	0.083	0.942 ^{**}	-0.866 ^{**}	1.000	-0.740 [*]	-0.810 ^{**}	0.757 [*]	0.586 [*]	0.756 [*]
O ₂ ⁻	-0.785 [*]	-0.930 ^{**}	-0.870 ^{**}	-0.810 ^{**}	-0.820 ^{**}	-0.250	-0.680 [*]	-0.860 ^{**}	0.702 [*]	-0.710 [*]	1.000	0.839 ^{**}	-0.950 ^{**}	-0.840 ^{**}	-0.840 ^{**}
MDA	-0.134	-0.490	-0.310	-0.070	-0.100	-0.490	-0.950 ^{**}	-0.250	-0.082	0.055	0.625 [*]	1.000	-0.950 ^{**}	-0.910 ^{**}	-0.980 ^{**}
VC	0.393	0.564 [*]	0.473	0.198	0.284	0.540 [*]	0.960 ^{**}	0.497	-0.050	0.200	-0.670 [*]	-0.850 ^{**}	1.000	0.952 ^{**}	0.956 ^{**}
可溶性糖	0.802 ^{**}	0.596 [*]	0.705 [*]	0.909 ^{**}	0.921 ^{**}	-0.250	-0.120	0.805 ^{**}	-0.953 ^{**}	0.897 ^{**}	-0.580 [*]	0.252	-0.020	1.000	0.945 ^{**}
可溶性蛋白	0.873 ^{**}	0.775 [*]	0.838 ^{**}	0.965 ^{**}	0.978 ^{**}	-0.120	0.188	0.915 ^{**}	-0.958 ^{**}	0.914 ^{**}	-0.800 [*]	-0.060	0.263	0.950 ^{**}	1.000

*表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关,**表示在 $P<0.01$ 水平上极显著相关。

重要原因。本实验结果表明,不同贮藏时间的沙葱种子中O₂⁻产生速率的变化随着沙葱种子贮藏时间的延长,总体上呈现上升的趋势,且与沙葱种子的萌发指标呈现显著或极显著的负相关关系,说明随着贮藏时间的延长,O₂⁻产生速率的增加,加重了沙葱种子细胞膜的破坏,从而加快了其老化,是沙葱种子老化的重要原因之一。MDA是种子中不饱和脂肪酸氧化的最终产物,能够引起种子膜系统的严重损伤,通常作为膜脂过氧化指标,而脂质过氧化被公认为是导致老化变质的最主要因素。王玺和赵增焜(1990)的研究表明,MDA含量的变化与种子活力的高低呈负相关,随着贮藏时间的延长,种子中MDA含量增加,同时细胞内含物的外渗量增加,由此推断种子中膜脂不饱和脂肪酸的过氧化作用可能是膜损伤以及活力降低的重要原因。而本实验结果表明,随着贮藏时间的延长,在贮藏的前3年内干种子中MDA含量呈下降的趋势,之后随贮藏时间延长其变化趋于稳定,相关分析也表明干种子的萌发特性与MDA含量无显著相关性,说明随着贮藏时间的延长沙葱种子中MDA并没有过多的积累,没有加剧种子的膜脂过氧化作用,不是导致沙葱种子老化的主要原因,这是否是沙葱种子寿命比同属植物长的原因,还需要进一步的研究。

2 贮藏物质在沙葱种子贮藏陈化中的作用

蛋白质和糖类是种子中两大主要贮藏物质,种子在贮藏过程中,蛋白质和淀粉可缓慢地分解为小分子物质,蛋白质水解为氨基酸,淀粉转化为多种糖类。一般认为种子活力与贮藏蛋白合成能力有关,当种子活力下降时,蛋白质的合成量减少,蛋白质和酶结构遭到破坏,在种子贮藏陈化过程中,种子中的蛋白质含量也呈现出不断下降的变化趋势,这在大豆(吴淑君和王爱国1990)和油菜(钱秀珍等1993)等的研究中得以证明,同时在同属的大葱(董海州等1998)中也获得相同的研究结果。但本研究表明,沙葱种子中可溶性蛋白质含量随着贮藏时间延长整体上呈现先上升而后略有下降的变化趋势,但与对照相比其差异不显著,表明贮藏陈化对沙葱种子中可溶性蛋白质含量有一定的影响,但影响较小。在贮藏陈化过程中沙葱种子中可溶性蛋白质为什么稳定性较好以及是否是沙葱种子寿命比同属植物种子寿命长的原因,须进一步研究。糖类是最主要的呼吸基质,是种子胚生长发育的养料和能量来源,在种子贮藏陈化过程中,可溶性糖含量的变化随着贮藏时间的延长而减少,可溶性糖被呼吸作用不断地分解,导致总糖的含量不断减少(毛培胜等2001;欧利叶等2000);本文结果也证明了这一点,即随着贮藏

时间的延长,两者含量均呈现下降的趋势,该趋势与种子的萌发指标变化趋势相一致,且呈显著的正相关关系,特别与种子的活力呈极显著的正相关关系。

3 沙葱种子寿命及其对生产用种的指导意义

种子寿命是指在一定环境条件下,种子保持发芽能力或生活力的年限,一般以达到60%发芽率的贮藏时间为种子寿命的依据。种子的寿命因种类不同而差异较大。百合科葱属中大多数植物的种子寿命较短,如洋葱、韭菜、大葱种子常温储存到第二年发芽率就降到50%以下(《农业新技术》编辑部2005),但我们发现在室温贮藏3年内的沙葱种子发芽率随着贮藏时间的延长不但没有下降反而有所上升,且在贮藏3年时发芽率达最大,在90%以上,贮藏3年后随贮藏时间的延长,发芽率有所下降,贮藏6年的种子发芽率仍在60%以上。可见,沙葱种子在含水量为7.39%和室温15~20℃条件下密封贮藏,其寿命为6年,使用年限2~4年。

参考文献

- 陈信波(1989). 综述水稻种子劣变及生活力的丧失. 种子, (3): 27~31
- 戴志刚, 王凤敏, 陈基权, 粟建光, 龚友才, 温岚(2012). 人工老化对红麻种子活力及基因组DNA的影响. 热带作物学报, 33 (6): 981~987
- 董海州, 高荣歧, 尹燕桦, 李圣福(1998). 不同贮藏和包装条件下大葱种子生理生化特性的研究. 中国农业科学, 31 (4): 59~64
- 韩建国, 毛培胜(2000). 老芒麦种子发育过程中的生理生化变化. 草地学报, 8 (4): 238~244
- 黄冬梅, 任育军, 缪颖(2014). 植物衰老过程中的表观遗传学调控. 植物生理学报, 50 (9): 1293~1304
- 孔祥生, 易现锋(2008). 植物生理学实验技术. 北京: 中国农业出版社
- 蒯本科(2014). 植物衰老关系器官发育和作物产量与品质性状的形成. 植物生理学报, 50 (9): 1265~1266
- 李合生(2000). 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社
- 李胜, 张真, 杨广兴, 李婷, 张青, 松刘媛, 吴媛媛, 汪建政(2007). 不同处理对麻黄种子生理生化特性的影响. 草业科学, 24 (1): 59~64
- 李忠光, 龚明(2005). 植物中超氧阴离子自由基测定方法的改进. 云南植物研究, 27 (2): 211~216
- 毛培胜, 韩建国, 王培, 戎郁萍(2001). 无芒雀麦种子发育过程中的生理生化变化. 中国草地, 23 (1): 26~31
- 孟淑春, 张海英, 刘庞源, 胡爱君, 孔祥辉(2007). 韭菜种子超干方法的比较研究. 安徽农业科学, 35 (30): 9701~9718
- 孟祥栋(1993). 菜用大豆种子劣变与生理生化变化的关系. 大豆科学, 12 (3): 259~264
- 孟祥林, 李曙轩(1992). 加速老化处理对菜用大豆种子活力的影响及其生理生化变化. 上海农业学报, 8 (3): 87~90
- 《农业新技术》编辑部(2005). 种子名词知多少. 农业新技术, (1): 45
- 欧利叶, 梁红, 刘胜红, 周儒茂(2000). γ -射线辐射对银杏种子贮藏期间呼吸速率及品质的影响. 植物资源与环境学报, 9 (3): 8~10
- 钱秀珍, 伍晓明, 胡琼(1993). 贮藏时间对油菜种子生理生化形状影响. 中国油料, (3): 30~32
- 唐萍, 崔连伟, 张艳玲, 花朝阳, 张耀莉(2011). 大葱种子加工贮藏技术探讨. 园艺与种苗, (3): 28~29
- 王玺, 赵增焜(1990). 大豆种子贮藏期间活力变化规律及PEG处理效应. 沈阳农业大学学报, 21 (3): 207~213
- 吴淑君, 王爱国(1990). 种子自然老化时蛋白质类型的变化. 种子, (2): 8~11
- 杨忠仁, 郝丽珍, 张凤兰, 王萍, 刘杰才, 李晓静, 张进文, 胡宁宝, 赵清岩, 王六英(2007). 沙葱种子的萌发特性和几种贮藏物质含量变化. 植物生理学通讯, 43 (1): 173~174
- 曾钦薇, 谢永俊(2012). 人工老化诱导的油菜种子活力和抗氧化酶活性变化的研究. 云南农业科技, (2): 11~13
- 周国栋(2012). 种子老化对老芒麦种质生理特性及遗传完整性变化的影响[硕士论文]. 北京: 中国农业科学院
- 朱世东, 张志伟(1995). 蔬菜种子老化与膜脂过氧化作用. 园艺学报, 22 (4): 394~396
- Balesevic-Tubic S, Tatic M, Dordevic V, Nikolic Z, Subic J, Dukic V (2011). Changes in soybean seeds as affected by accelerated and natural aging. Rom Biotech Lett, 16 (6): 6740~6747
- Mao BZ, Song W, Chen SY, Liu XH, Lai QX, Li DB (2012). Modification of membrane lipid peroxidation and antioxidant enzymes activation in transgenic rice resistant to *Rhizoctonia solani*. Afr J Biotechnol, 11 (21): 4841~4148
- McCouch SR, McNally KL, Wang W, Hamilton RS (2012). Genomics of gene banks: a case study in rice. Am J Bot, 99 (2): 407~423
- Shaban M, Motlagh ZR (2014). Physiology of plants affected by ageing. Int J Adv Biol Biomed Res, 2 (7): 2301~2305
- Tatic M, Balesevic-Tubic S, Dordevic V, Nikolic Z, Dukic V, Vujakovic M, Cvijanovic G (2012). Soybean seed viability and changes of fatty acids content as affected by seed aging. Afr J Biotechnol, 11 (45): 10310~10316
- Zhang MY, Wang ZF, Yuan LL, Yin CF, Cheng JP, Wang L, Huang J, Zhang HS (2012). Osmopriming improves tomato seed vigor under aging and salinity stress. Afr J Biotechnol, 11 (23): 6305~6311