

超干处理对大豆种子抗老化能力及抗氧化代谢的影响

赵 鹏^{1,3}, 陆开彤², 朱 诚³

(¹丽水学院, 浙江 丽水 323000; ²宁波大学生命科学与生物工程学院, 浙江 宁波 315211; ³浙江大学生命科学学院, 浙江 杭州 310029)

摘 要:通过控制超干处理时间获得不同含水量的大豆种子(8.1%、4.0%和2.4%),对这些不同超干种子进行老化及回水处理,同时测定其抗老化能力及抗氧化酶等生理指标。结果发现:超干处理能提高大豆种子的抗老化能力,延长种子的贮藏寿命。超干种子(MC4.0%和2.4%)内氧自由基水平高于未超干种子(MC8.1%),但与老化前相比,未超干老化种子内氧自由基和丙二醛含量(MDA)的增加幅度均明显大于超干老化的种子,经超干老化种子的氧自由基清除能力要高于未超干老化的种子。超干种子的较强的抗老化能力还与其相对较高的抗氧化酶(SOD、POD、CAT)系统有关,发现老化导致超干种子的种胚和子叶中SOD、POD和CAT活性的下降要小于未超干种子的下降幅度。结果认为抗膜脂过氧化能力的保持是超干种子耐贮藏性的生理原因之一。

关键词:大豆;种子超干;人工老化;抗氧化代谢

中图分类号:S565.1;S330.3⁺1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2009)03-

0450-06

Effects of Ultra-dry Treatment on Anti-aging Ability and Antioxidative Metabolism of Soybean Seed

ZHAO Li^{1,3}, LU Kai-xing², ZHU Cheng³

(¹Lishui University, Lishui 323000, Zhejiang; ²Faculty of Life Science and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang; ³College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang, China)

Abstract: Soybean seeds with different water content (8.1%, 4.0% and 2.4%) were obtained by controlling ultra-drying time, then those seeds were treated by aging and re-water, those parameters such as anti-aging ability and antioxidant enzymes were measured. Results showed that ultradrying treatments can improve the ability of aging-resistance, thus prolonging its storage longevity. The free radical content was higher in ultradrying seeds (moisture content 4.0% and 2.4%, respectively) than that of non-ultradrying seeds (moisture content 8.1%). But compared with pre-aging seeds, the increasements of free radical and malonaldehyde (MDA) content in aged non-ultradrying seeds were significantly higher than that in ultradrying seeds, while the activity of lipoxygenase (LOX) in aged ultradrying seeds were evidently higher than that in aged non-ultradrying seeds. The higher ability of aging-resistance in ultradrying seeds was also attribute to its higher antioxidative system including superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT). The decrease in SOD, POD and CAT activity induced by aging was lower in ultradrying seeds compared with non-ultradrying seeds. Results suggest that the maintenance of the ability of resisting the superoxidation of the membrane lipids would be one of the reasons to prolong storage longevity of ultradried seeds.

Key words: Soybean; Seed ultradry; Artificial aging; Antioxidative metabolism

在影响种子寿命的诸多因素中,以种子水分对寿命的影响最为重要,国际植物遗传资源委员会(IBPGR)推荐(5±1)%的含水量和-18℃低温作为世界各国长期保存种质的理想条件^[1]。而由于低温贮藏所需费用较高,相比种子超干贮藏技术在

种质资源保存上具有很大的应用潜力^[2]。种子超干贮藏主要是通过降低种子含水量(≤5%~7%),密封后在常温下贮藏,常用于种质资源和高价值种子的长期保存,其贮藏效果相当于高含水量种子在低温下贮藏的效果。超干保存被认为是种子生物多

收稿日期:2009-02-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(N0301705950)。

作者简介:赵鹏,女,(1964-),硕士,副教授,研究方向为植物生理学。E-mail:xyzhaoli@126.com。

样性保护中一种经济有效的方法^[3-5]。其中当超干种子内的含水量降低至对其发芽率和活力有明显影响时,称之为过度超干,而对其发芽率和活力无影响时则为适度超干。前人已经在油菜、花生、大豆、亚麻和水稻等作物种子上开展超干贮藏的研究^[6-8]。大豆是我国重要的粮食和油料作物,在我国已有多年的栽培历史,我国又是大豆种质资源保存较多的国家,如何提高大豆种子的贮藏技术对大豆资源的开发与利用具有重要意义。以大豆种子为材料,研究了大豆种子超干贮藏的效果,并从抗氧化代谢的角度探讨了其生理原因,为扩大超干保存技术的应用提供基础。

1 材料与方法

1.1 种子的超干处理

大豆 Soybean (E6824) 种子来自于中国农业科学院作物所,种子的初始含水量为 10%,初始发芽率为 100%。超干处理方法采用硅胶干燥法^[9]:将种子置于尼龙网袋,埋于干燥器内硅胶中,硅胶与种子重量比为 10:1,于 25℃ 恒温下脱水干燥,每天更换经 120℃ 充分冷却的干燥硅胶,通过控制处理时间获得含水量分别为 8.1%、4.0% 和 2.4% 种子,然后把不同含水量的种子密封于双层铝铂袋中室温保存备用。

1.2 种子老化与回水处理

根据程红焱等^[6]方法,把密封于双层铝铂袋中的含不同含水量的种子放入干燥的大玻璃瓶中,在 50℃ 恒温的条件下老化 10 d 后,顺序放入饱和 CaCl₂ 水溶液(20℃ 相对湿度为 35%)、饱和 NH₄Cl 水溶液(20℃ 相对湿度为 70%)以及水(20℃ 相对湿度为 100%)所平衡的相对温度环境的干燥器中,密封,各平衡 24 h,进行逐级回水处理。

1.3 种子发芽与活力测定

种子发芽根据《国际种子检验规程》(ISTA, 1993),重复 4 次,活力指数(VI)按如下公式计算: $VI = GI \times S_x$, GI 为发芽指数 = $\sum (G_t/D_t)$, G_t : t 天后的发芽数, D_t : 发芽天数, S_x : 发芽 X 天后鲜苗平均重量。

1.4 电导率测定

取种子 0.5 g,用无离子水冲洗 3 次,用滤纸吸干表面水分,装入烧杯,加 10 mL 无离子水,在 20℃ 下将种子浸泡,然后采用 DDS-11A 型电导率仪测定浸出液的电导率,每个处理 3 个重复。

1.5 抗氧化酶活性的测定

1.5.1 酶液的提取 分别取子叶 1.0 g 和胚 0.5 g 加 3~5 mL K₂HPO₄-KH₂PO₄ 缓冲液(50 mmol·L⁻¹, pH 7.0)冰浴,研磨成匀浆。在 4℃ 的条件下,15 kg 离心 20 min。上清液即为酶提取液。

1.5.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定 采用 SOD 抑制氮兰四唑(NBT)在光下的还原作用来测定 SOD 活性。参照 Bailly 等的方法^[10]。SOD 活性以抑制 NBT 光化学反应的 50% 为一个酶活性单位。重复 3 次。

1.5.3 过氧化氢酶(CAT)活性测定 根据 Cakmak 的方法^[11]。取其中 10 s 的动力学变化计算酶促反应速率。吸光系数为 39.4 mmol⁻¹·cm⁻¹。重复 3 次。

1.5.4 抗坏血酸过氧化物酶(AsA-POD)活性测定 根据 Hossain 的方法^[12]。取其中 10 s 的动力学变化计算酶促反应速率。吸光系数为 2.8 mmol⁻¹·cm⁻¹。重复 3 次。

1.6 脂氧合酶(LOX)活性测定

分别取子叶 1.0 g 和胚 0.5 g 加 3~5 mL Na₂HPO₄-NaH₂PO₄ 缓冲液(50 mmol·L⁻¹, pH 7.0)冰浴,研磨成匀浆。在 4℃ 的条件下,15 000 r·min⁻¹ 离心 15 min。上清液即为酶提取液。20 μL 酶提取液加上 30 μL 亚油酸钠(25 mmol·L⁻¹),2.95 mL 硼酸缓冲液(0.2 mol·L⁻¹ pH 9.0),反应温度 30℃。加酶液后 15 s 开始计时,在 234 nm 下测定 1 min 内的 OD 值变化。酶活性以 $\Delta OD_{234} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{pro}$ 表示。重复 3 次。

1.7 丙二醛(MDA)的测定

根据 Bailly 的方法^[13]。按 MDA 的消光系数 $E = 155 \text{ mmol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 计算 MDA 含量。重复 3 次。

1.8 超氧自由基产生速率的测定

分别取子叶 1.0 g 和胚 0.5 g,加入 5 倍于样品量的 50 mmol·L⁻¹ pH 7.8 磷酸缓冲液(含 0.1 mmol·L⁻¹ EDTA, 0.3% (W/V) TritonX-100, 4% (W/V) 聚乙烯吡咯烷酮(PVP))研磨,于 10 000 r·min⁻¹ 离心 20 min,上清液即为提取液。0.5 mL 样品提取液中加入 0.5 mL 50 mmol·L⁻¹ 磷酸缓冲液(pH 7.8),1 mL 1 mmol·L⁻¹ 盐酸羟胺,摇匀,于 25℃ 中保温 1 h,然后再加入 1 mL 17 mmol·L⁻¹ 对氨基苯磺酸和 1 mL 7 mmol·L⁻¹ α-萘胺(以冰醋酸:水 = 3:1 配制)混合,25℃ 中保温 20 min,测定 OD 530 值。超氧自由基产生速率以 $\text{nmol min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{pro}$ 表示。重复 3 次。

1.9 有机自由基清除率测定

参考许申鸿等的方法^[14]。

2 结果与分析

2.1 超干处理对种子抗老化能力的影响

大豆种子在 50℃ 人工老化 60 d 后,未经超干处理的种子(对照)发芽率和活力指数迅速下降,而经过超干处理的种子仍能保持较高水平的发芽率和活力指数,但是不同超干水平的种子其活力保持能力是不同的,当种子含水量小于 4% 时,其老化后的活力指数已有所下降(表 1)。

通过对不同超干种子人工老化后达到相同发芽率所需要的老化天数的比较发现(表 2):不同含水量的大豆种子发芽率降至 50% ~ 60% 所需的人工老化时间存在着明显的不同,未超干种子发芽率降至 50% ~ 60% 所需的人工老化时间为 69 d,而超干种子发芽率降至 50% ~ 60% 所需的人工老化时间显著地延长了,其中适度超干种子所需的老化时间最长为 167 d,表明种子超干处理确实能提高种子抗人工老化的能力。

表 1 超干处理对大豆抗老化能力的影响

Table 1 Effect of UD on the anti-aging ability of different species seeds

含水量 Moisture content/%	发芽率 Germinability/%	活力指数 Vigor index
8.1	59	0.20 ± 0.05
4.0	92	1.29 ± 0.16
2.4	87	0.63 ± 0.07

表 2 超干种子经人工老化达到相同发芽率所需时间的比较
Table 2 The Comparison on the time of the same germinability of UD seeds at accelerated aging

含水量 Moisture content/%	相同发芽率 The same germinability/%	人工老化时间 The day of accelerated aging
8.1	49	69
4.0	56	167
2.4	53	135

2.2 超干处理对膜透性的影响

细胞结构的完整性是种子活力的基础。种子活力的大小与电导率的高低一般呈负相关,活力高的种子,膜修复能力强,电解质外渗量少,积累速率慢,活力弱的种子则相反^[15]。种子经脱水干燥后,不经回水处理其电导率显著升高(上升 56%)(图 1),表明种子干燥脱水至 2.4% 后对种子细胞膜的透性有

一定的影响,相比,脱水并经一次回水处理后其电导率上升相比不回水处理要小(上升 44%),而经三次回水处理的电导率上升最小(上升 28%),说明脱水处理造成膜透性一定程度的损伤,而该损伤可通过回水处理得以减缓,这结果也表明种子发芽前的回水处理有利于种子完成膜体系的修复,避免快速吸水引起膜透性的增加。

2.3 超干种子老化后有机自由基清除能力的变化

不同含水量种子经人工老化后,适度超干种子其种胚和子叶清除有机自由基的能力明显增强于未超干种子(图 2),种胚和子叶中自由基清除能力分别上升 13.5% 和 13.1%;过渡超干种子其种胚和子叶清除有机自由基有能力也高于未超干种子(分别上升 9.7% 和 10.9%)。这些结果与种子活力的变化趋势相一致。

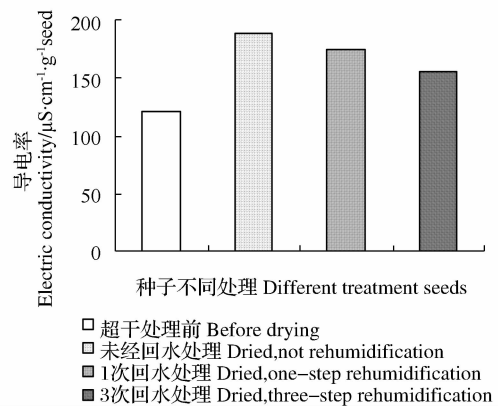


图 1 超干种子经不同回水处理后电导率的变化

Fig. 1 Effects of rehumidification on electric conductivity of dried seeds

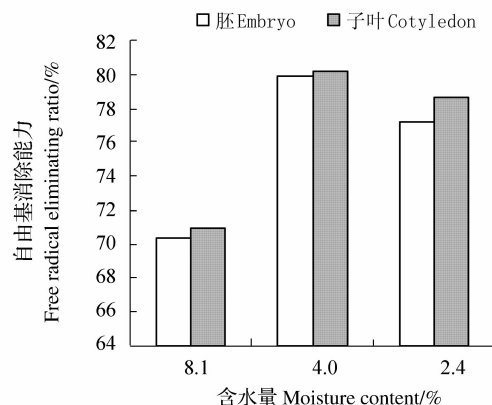


图 2 不同含水量大豆种子人工老化后胚和子叶内有机自由基清除能力的变化

Fig. 2 Change of eliminating ratio of free radical in embryo and cotyledon of different moisture content soybean seeds after accelerated aging

2.4 超干种子人工老化后有害物质的变化

50℃老化 30 d 后,适度超干和过度超干大豆种子的种胚和子叶内氧自由基含量高于未超干种子(表 3)。相比较,老化处理显著提高了未超干种子胚和子叶内氧自由基的含量(分别上升了 95% 和 83%)。而老化处理对超干种子胚和子叶

内氧自由基的促进作用要小于对照,如老化后适度超干种子的胚和子叶中氧自由基上升幅度为 30% 和 40%,过渡超干种子中则相应地上升了 29% 和 50%,其升幅均明显小于未超干种子,表明超干处理在一定程度上抑制了大豆种子在老化过程中氧自由基的产生。

表 3 不同含水量的大豆种子老化前后胚与子叶内氧自由基和 MDA 含量比较

Table 3 Comparison of contents of superoxide and MDA in embryo and cotyledon of soybean seed with different moisture content between before and after aging

		胚 Embryo			子叶 Cotyledon		
		含水量 Moisture content/%			含水量 Moisture content/%		
		8.1	4.0	2.4	8.1	4.0	2.4
氧自由基 Superoxide/nmol · mg ⁻¹ Pro. · min ⁻¹	老化前 Before accelerated aging	0.21	0.30	0.31	0.12	0.20	0.20
	老化后 After accelerated aging	0.41	0.39	0.40	0.22	0.28	0.30
MDA /nmol · g ⁻¹ FW	老化前 Before accelerated aging	71.90	73.18	73.09	28.12	30.12	30.54
	老化后 After accelerated aging	90.12	83.12	86.18	40.15	38.12	41.12

显然,老化处理对不同含水量种子胚和子叶中 MDA 含量的变化趋势类似于氧自由基(表 3):老化处理前超干种子胚和子叶内的 MDA 含量均高于未超干种子,而老化处理对各种子胚与子叶中 MDA 的含量均有不同程度的促进作用,但对超干种子胚和子叶中 MDA 含量增加的幅度明显低于未超干的种子,如适度超干的种子胚和子叶中 MDA 含量分别上升了 14% 和 27%,而未超干种子种胚和子叶分别上升了 25% 和 43%,过渡超干的则分别增加了 18% 和 35%。这表明适度超干种子老化过程中内部膜脂过氧化作用比未超干的种子发生的程度轻。

2.5 超干种子人工老化后脂氧合酶(LOX)活性的变化

相比人工老化前不同含水量大豆种子种胚和子叶内的 LOX 活性,人工老化显著促进了 LOX 的活性(图 3),相比子叶中的增加幅度要大于种胚的,但无论是种胚还是子叶,未超干种子经老化后 LOX 活性的增幅最大(分别增加 64% 和 139%),高出过渡超干种子的增幅(增幅为 34.6% 和 128%),相比,适度超干种子的增幅最小(为 26% 和 81%),这一结果与 MDA 和超氧自由基含量的变化趋势相一致。

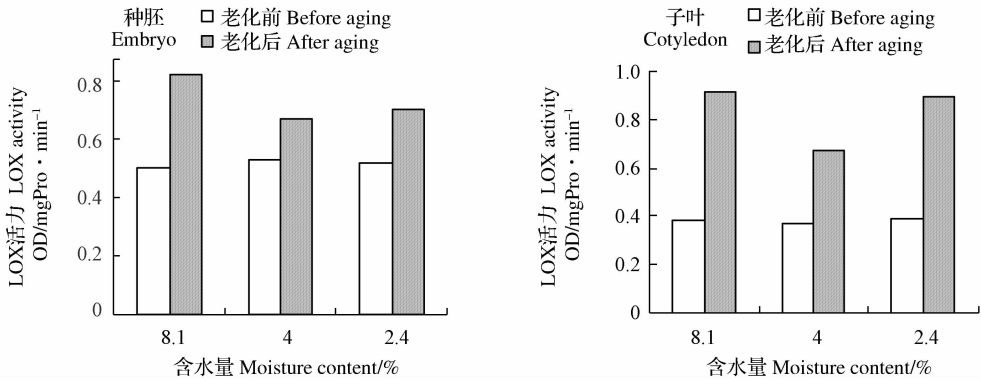


图 3 不同含水量处理大豆种子老化前后胚和子叶内 LOX 活性的变化

Fig. 3 Changes of LOX activities in embryo and cotyledon of different moisture content soybean seed after accelerated aging

2.6 超干种子人工老化后抗氧化酶系统的变化

人工老化处理对种子内抗氧化酶系统的影响是不同的(表4)。老化前后种胚内 SOD 活性略有下降,相比子叶中 SOD 活性的下降幅度更大。种子胚中的 SOD 活性在对照,适度超干和过渡超干种子中的下降幅度分别为 5%、2% 和 4.5%,而在子叶中,相比对照的下降幅度(24%),适度超干种子子叶内 SOD 的下降幅度最小(4.9%),而过度超干后其子叶内 SOD 活性的下降显著高于对照(为 59%)。同样,老化处理也降低了大豆种子胚和子叶内的 CAT

活性,如对照种子的降幅分别为 19% 和 13%,而适度超干种子胚和子叶内的降幅均只有 7%。种子老化处理对 ASA-POD 的活性下降较为显著(其中种子的胚内没检测到 ASA-POD 活性),相比老化处理对对照种子子叶内 ASA-POD 活性的下降幅度(为 29.5%),适度超干种子的降幅只有 19%,而过渡超干种子的降幅则高达 33%。以上结果表明,适度降低种子含水量可提高种子的抗氧化能力,有效提高种子的抗老化能力,但是种子含水量过低,并不能提高其抗氧化能力。

表4 不同含水量大豆种子老化前后胚和子叶内抗氧化酶系统的影响

Table 4 Effective of UD on the system of scavenging activated oxygen in embryo and cotyledon of soybean seed

		胚 Embryo			子叶 Cotyledon		
		含水量 Moisture content/%			含水量 Moisture content/%		
		8.1	4.0	2.4	8.1	4.0	2.4
SOD	老化前 Before accelerated aging	39.17	40.12	39.68	21.17	20.19	20.56
/U · mg ⁻¹ Pro.	老化后 After accelerated aging	37.16	39.18	37.88	16.11	19.21	7.91
CAT	老化前 Before accelerated aging	8.92	9.04	9.01	15.25	15.34	15.67
/nmol · mg ⁻¹ Pro. · min ⁻¹	老化后 After accelerated aging	7.19	8.38	7.98	13.23	14.13	13.78
AsA-POD	老化前 Before accelerated aging	—	—	—	11.21	12.10	11.98
/nmol · mg ⁻¹ Pro. · min ⁻¹	老化后 After accelerated aging	—	—	—	7.90	9.78	7.99

3 讨论

种子发芽率是表示种子发芽能力的常用指标,发芽率高说明发芽能力强,存活可发芽的种子多。而种子活力指数则是反映种子生活力的重要指标。研究发现大豆种子经超干处理后其抗老化能力明显提高(表1),具体反映在老化处理对超干处理种子发芽率和活力指数要大大高于未经超干处理的种子。种子超干处理提高其抗老化能力还体现在达到相同发芽率所需的老化时间明显多于对照种子所需的老化时间(表2),这一系列结果说明超干种子比对照具有更强的抗老化的能力。

自由基是一类具有奇数电子的分子、原子和离子,游离在细胞中具较强的氧化能力,能引发膜上不饱和脂肪酸过氧化反应,形成 MDA 等多种过氧化物的降解产物,对生物膜起严重的破坏作用;丙二醛是种子在贮藏过程中随着劣变的发生而逐渐积累的有毒的脂质过氧化产物,其含量常用以表示种子中脂质过氧化程度。研究发现与老化前相比(表3),未超干种子的种胚和子叶内氧自由基和 MDA 含量的增加幅度明显大于超干种子,其中以适度超干处理的种子(4.0%)其氧自由基增幅最小,说明适度超干处理在一定程度上抑制了种子在老化过程中氧自由基的产生,也说明了超干种子具有相对较强的抗脂质过氧化能力,在老化过程中其内部膜脂过氧

化作用比未超干的种子发生的程度轻。究其原因可能是当种子含水量降低到一定程度时,细胞质在可溶性糖促进下进入玻璃化状态,在这种状态下,种子的呼吸代谢降低到最低水平,一些酶促反应受到抑制,包括对种子不利的脂氧合酶等促进种子劣变的酶类,自由基的攻击能力下降,膜脂过氧化被部分抑制,从而保证了超干种子活力维持在较高水平。相比对照,适度超干和过渡超干种子的胚和子叶具有较强的清除有机自由基的能力(图2),这更证实了超干处理有利于种子抗老化能力的提高。同样,任晓米等就种子超干处理后细胞中水分状态的变化、膜结构和功能的完整性、膜脂过氧化、自由基含量及其清除系统等问题进行了讨论,认为种子超干状态与活性氧自由基的活动密切相关^[16]。

生物体由于非脂性自由基的存在引发膜系统中不饱和脂肪酸的过氧化,脂质过氧化产生的自由基链式反应,可使膜相分离,导致膜流动性降低,破坏膜的正常生理功能,继而进一步产生丙二醛和挥发性醛等毒害物质。SOD 能以氧自由基为基质进行歧化反应,将毒性较强的氧自由基转化为毒性较轻的 H₂O₂;CAT、ASA-POD 和 G-POD 是清除过氧化物的和 H₂O₂ 的主要酶,因而这四类酶活性高,有利于清除活性氧的毒害,减轻脂质过氧化作用。结果显示,在大豆种子的胚和子叶的提取液中都能检测到超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性,抗

坏血酸过氧化物酶活性仅在子叶中检测到,而愈创木酚过氧化物酶(G-POD)活性在种胚和子叶中均未检测到。在已检测到的几种酶活性中,老化处理均降低了种子胚及子叶中抗氧化酶的活性,相比对照,适度超干种子中的下降幅度较小,说明种子在超干贮藏过程中,抗氧化酶的活性比较高含水量的种子保持得要更好。种子适度超干与抗老化能力间的关系同样也见于其它报道:如张施君等的研究表明芥兰超干种子(含水量为4.91%、3.25%和2.84%)的耐贮藏性能与其抗老化能力、SOD和CAT活性的增强相关,认为对脂质过氧化的抑制作用是超干种子耐贮藏的原因^[17];程红焱等也研究发现超干种子在经过一定时间常温贮藏后,在吸胀萌发后仍具有较高的抗氧化酶活性,与低温贮藏的种子并无明显的差异,而未超干种子在常温下贮藏同样的时间后,抗氧化酶的活性则大部分丧失^[6,18];赵鹏等早期研究也发现将含水量为3.4%~3.5%的种子在室温自然条件下贮藏1~3年,种子中MDA和H₂O₂含量、超氧阴离子自由基产生速率和LOX的活性明显低于含水量为7.1%和1.2%的种子,而SOD、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、CAT的活性显著地高于未超干的种子(含水量7.1%)和高度超干的种子(含水量1.2%)。这一系列研究结果说明抗氧化系统能否有效地运转对于超干种子防御活性氧的伤害尤为重要。

参考文献

- [1] 胡晋,龚利强.超干处理和贮藏对番茄和辣椒种子生活力和活力的影响[J].种子,1994,5:27-30. (Hu J, Gong L Q. Effects of ultradry treatment and storage on viability and vigor of tomato and chilli seeds[J]. Seed, 1994, 5: 27-30.)
- [2] 程红焱.种子超干贮藏技术研究的背景和现状[J].云南植物研究,2005,27:113-124. (Cheng H Y. Research background and progress of seed ultradry storage technology[J]. Acta Botanica Yunnan, 2005, 27: 113-124)
- [3] Zheng G H, Jing X M, Tao K L. Ultradrying storage cut cost of genebank[J]. Nature, 1998, 363: 223-224.
- [4] Ellis R H, Hong T D, Roberts E H. Moisture content, storage, viability and vigor[J]. Seed Science Research, 1991, 1: 275-277.
- [5] Ellis R H, Hong T D. Survival of dry and ultra-dry seeds of carrot, groundnut, lettuce, oilseed rape, and onion during five year's hermetic storage at two temperatures[J]. Seed Science and Technology, 1996, 24: 347-358.
- [6] 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].植物生理学报,1991,17: 273-284. (Cheng H Y, Zheng G H, Tao K L. Physiological, biochemical and ultrastructural studies on ultradried seeds of some Brassica species [J]. Acta Phytophysiol Sinica, 1991, 17: 273-284.)
- [7] 胡家恕,朱诚,曾广文.超干红花种子抗老化作用及其机理[J].植物生理学报,1999,25:171-177. (Hu J S, Zhu C, Zeng G W. Effect of Aging resistance of ultradried Safflower seeds and its mechanism [J]. Acta Photophysiol Sinica, 1999, 25: 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,2000,26:235-338. (Zhu C, Zeng G, Zheng G H. The storage tolerance and lipid peroxidation in ultradried peanut seeds[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26: 235-338.)
- [9] 章卓梁,朱诚,任晓米.种子贮藏物和种胚着生部位对种子脱水速率的影响[J].种子,2005,24:6-8. (Zhang Z L, Zhu C, Ren X M. Effect of seed accumulated substances and position of embryo on the speed of dehydrating[J]. Seed, 2005, 24: 6-8.)
- [10] Bailly C, Benamar A, Corbineau F, et al. Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activation in sunflower seeds as related to deterioration during accelerated aging [J]. Physiologia Plantarum, 1996, 97: 104-110.
- [11] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves[J]. Plant Physiology, 1991, 98: 1222-1227.
- [12] Hossain M A, Asada A. Inactivation of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts on dark addition of hydrogen peroxide; its protection by ascorbate [J]. Plant Cell Physiology, 1984, 25: 1285-1295.
- [13] Bailly C, Benamar A, Corbineau F, et al. Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent peeling in sunflower seeds[J]. Physiologia Plantarum, 1998, 104: 646-652.
- [14] 许申鸿,杭瑚.二苯代苦味肼基自由基分光测定法及其应用的初步研究[J].植物生理学通讯,1999,35:474-477. (Xu S H, Hang H. Preliminary study on DPPH. Assay by spectrophotometry and its application [J]. Plant Physiology Communications, 1999, 35: 474-477.)
- [15] 邹冬梅.超干贮藏对柱花草种子的影响[J].热带作物学报,2005,26:30-33. (Zou D M. Ultra-dried storage of stylosanthes guianensis seeds[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2005, 26: 30-33.)
- [16] 任晓米,朱诚,曾文广,等.超干处理种子的某些生理生化特性[J].植物生理学报,2001,27:261-266. (Ren X M, Zhu C, Zeng G W, et al. The effect of moisture content and storage temperature on onion seed longevity [J]. Acta Phytophysiol Sinica, 2001, 27: 261-266.)
- [17] 张施君,陈润政.超干贮藏对芥兰种子生活力和活力的影响[J].植物生理学通讯,2003,39:101-104. (Zhang S J, Chen R Z. The effect of ultradry storage on seed viability and vigor of cabbage mustard[J]. Plant Physiology Communication, 2003, 39: 101-104.)
- [18] 曾广文,朱诚,胡家恕,等.红花种子超干期间自由基和水分状态的研究[J].浙江农业大学学报,1998,24(2):111-115. (Zeng G W, Zhu C, Hu J S, et al. Study on the status of free radical and water during ultradrying in safflower seed [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University (Agric. & Life Science), 1998, 24: 111-115.)