

温度与含水量对金钱松种子贮藏的影响

解楠楠¹ 骆文坚² 姜琴¹ 蒋燕¹ 应叶青^{1*}

(1. 浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业种苗管理总站 浙江 杭州 310007)

摘要:为了掌握保存金钱松种子最适宜的贮藏温度和含水量,比较和了解不同贮藏温度对不同含水量金钱松种子贮藏生理及发芽率的影响,对采集的金钱松种子做了不同的干燥和低温冷藏处理。结果表明:(1)种子贮藏的临界含水量在3%~4%;(2)低温保存-20℃的时候种子发芽率达到最高值;(3)低温和低含水量是影响金钱松种子发芽率的重要因素,单独的低温处理效果不显著,干燥和低温相结合处理是保存金钱松种子的有效手段;(4)MDA含量、POD、SOD含量与种子的发芽率之间存在负相关性。提高种子的抗氧化能力、减轻膜质过氧化是低温和适度干燥的金钱松种子贮藏期间有效保持种子活力的主要生理生化原因之一。

关键词:金钱松;种子发芽率;含水量;温度;种子贮藏

中图分类号:S791.23.04 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)06-1100-07

Temperature and Moisture Content on Seed Storage of *Pseudolarix kaempferi*

XIE Nan-nan¹, LUO Wen-jian², JIANG Qin¹, JIANG Yan¹, YING Ye-qing^{1*}

(1. The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China; 2. The Management Station for Forestry Plant of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: The germination rates of *P. kaempferi* seeds at different temperatures with different drying processing methods, were compared and the impact of seed moisture contents under different temperature conditions on the germination of *P. kaempferi* seed were analyzed. The main results are described as follows: (1) Critical humidity was 3% - 4%. (2) The highest values of seed germination happened when the hypothermia storage temperature was -20 °C. (3) Hypothermia and low moisture content were the important factors in seed germination, only hypothermia treatment had no significant effect, combination of drying and hypothermia was effective in storage of *P. kaempferi* seeds. (4) There were significant negative correlations between MDA, POD, SOD contents and germination. Improvement of the antioxidant capacity of seeds and reduction of lipid peroxidation were the main physiological and biochemical reasons for effective maintenance of seed viability during storage under hypothermia and moderate drying.

Key words: *P. kaempferi*; seed germination; moisture content; temperature; seed storage

金钱松 [*Pseudolarix kaempferi* (Lindl.) Gord. (*Pseudolarix amabilis* (Nelson.) Rehd.)] 隶属松科落叶松亚科金钱松属,为单属单种,是中国特有的孑遗植物,现今只幸存于长江中下游地区^[1-4],是我国南方的一种重要的造林绿化树种。然而,由于金钱松种子产量不稳定,结实有大小年现象,生产上需要通过贮藏该树种的种子以达到以丰补欠的目的。

收稿日期:2011-06-13 修回日期:2011-10-13

基金项目:浙江省重大科技专项(2006C12059-4)

作者简介:解楠楠(1986—),女,硕士生,主要从事森林培育研究, E-mail: slnannan@126.com; * 通讯作者:应叶青,副教授,博士。

种子含水量和贮藏温度是在贮藏期间能否保持良好种质的关键因素, Harrington^[5]曾指出: 当种子含水量5%~14%时, 每增加1%含水量, 种子寿命会减少一半。对于正常型种子, 降低种子含水量可以延迟种子恶化的速度, 以此保持种子活力^[6]。种子含水量和种子呼吸作用的关系最为密切, 当种子含水量高时, 种子呼吸速率增加; 细胞内酶被激活的种子, 各种生理过程加速且加速的过程中会分解部分细胞物质, 所以在贮藏过程中很难得到完整的种子。Ellis等^[7-9]早期研究表明, 通过降低含水量, 种子可在较高的温度下贮藏, 其效果与在较高含水量低温贮藏效果相同。另外, 保存种子质量的另一个关键因素就是贮藏的温度。在一定的含水量条件下, 降低种子的贮藏温度可以延缓种子的衰老、延长种子的寿命, 也可以保持较高的发芽率。

随着人们对遗传多样性的日益重视, 再加上目前的金钱松处于濒危状态^[10], 现在已被列为二级保护植物^[11]。所以, 研究该树种的最佳保存条件就显得尤为重要。本文以金钱松为材料, 研究贮藏金钱松种子的含水量和贮藏温度的最佳配合条件, 为金钱松的贮藏寻找最适合的条件, 也为其他种子的保存提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

测试所用种子采集于安吉。选择颗粒饱满的种子, 根据《林木种子检验规程》中测试发芽率的方法对收获的种子进行发芽率的测定, 测得初始发芽率为48.6%, 初始含水量为15.6%。

1.1.1 种子的干燥与含水量测定 用室温硅胶干燥法处理金钱松种子不同时间, 将种子放入干燥盒并完全埋藏于干燥器内硅胶中(所用硅胶每日更换), 置于25℃恒温下进行脱水干燥。每隔一定时间称重取样, 以制备不同含水量的种子。根据《林木种子检验规程》(GB2772—1999)中的提供的种子含水量测定方法测定金钱松种子的含水量, 测得金钱松的不同梯度的含水量分别为3.49%、5.17%、6.54%、9.38%和11.29%。

1.1.2 不同温度梯度贮藏处理 根据联合国粮农组织(FAO)和国际植物遗传资源委员会(BPGR)制定的保存种子种质的最佳温度条件, 设计-70℃、-40℃、-20℃和0℃共4种低温贮藏温度。为了防水以及更好的维持所控水分, 将不同含水量的金钱松种子用密封袋装好, 分别放入上述不同温度的低温冰箱中, 待储存30d和60d后测定其变化。

1.2 指标测定

1.2.1 发芽率测定 根据《林木种子检验规程》(GB2772—1996)和《国际种子检验规程》(ISTA)的发芽率测定的方法, 共设计4次重复, 每重复选择种子50粒。

1.2.2 相对电导率的测定 每个不同的处理称取种子0.5g, 首先用清水清洗表面杂质, 之后再用蒸馏水冲洗2次, 然后用滤纸吸干表面水分。用电导率仪测其原始电导率值。测完后用塑料薄膜封瓶口, 室温下放置24h。24h后测定其浸出液的电导率值^[12]。

1.2.3 过氧化氢酶(CAT)活性的测定 参考高俊凤^[5]方法对金钱松种子进行测定。称取种子样品0.5g, 去皮后放置于事先预冷的研钵中, 研磨后滴加缓冲液后将匀浆全部转移至离心管中, 并继续用缓冲液冲洗研钵。清液为酶提取液, 置于0~4℃下保存备用, 供酶活性、MDA含量等生理指标的测定^[27]。

1.2.4 丙二醛(MDA)含量测定 采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量^[13]。

1.2.5 保护酶活性测定 采用愈创木酚氧化比色法测定过氧化物酶(POD)活性。根据李合生^[14-15]的方法, 将金钱松种子去皮后, 提取酶液, 采用NBT光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性。

1.3 数据统计分析

用Original和SPSS 15.0对实验结果进行分析, 采用方差分析中的Duncan's新复极差法对数据差异的显著性进行估算。

2 结果与分析

2.1 不同温度和含水量对金钱松种子生理生化特性的影响

2.1.1 贮藏温度和含水量对种子相对电导率的影响 种子的相对电导率被国际种子检验协会(ISTA)

列为种子活力测定的方法之一。一旦细胞膜系统遭到破坏,引起细胞内代谢物质的外渗,细胞浸出液的值就会升高。所以,通过对细胞浸出液的测定,可以判断金钱松种子的膜系统是否完整。由图 1 可知,经过干燥处理的种子电导率呈缓慢升高趋势。含水量对金钱松电导率的影响非常明显,当种子含水量为 3.49% 或 5.17% 时种子电导率在贮藏期间的变化速度很缓慢,当种子含水量为 11.29% 时,随着贮藏时间的延长,种子的相对电导率迅速增加。由此可知,此种贮藏条件下的金钱松种子原生质膜的结构和功能均受到严重破坏,种子活力随贮藏时间的延长迅速降低,这充分表明 3.49% 和 5.17% 的含水量条件比 11.29% 的含水量条件更有利于种子的保存。

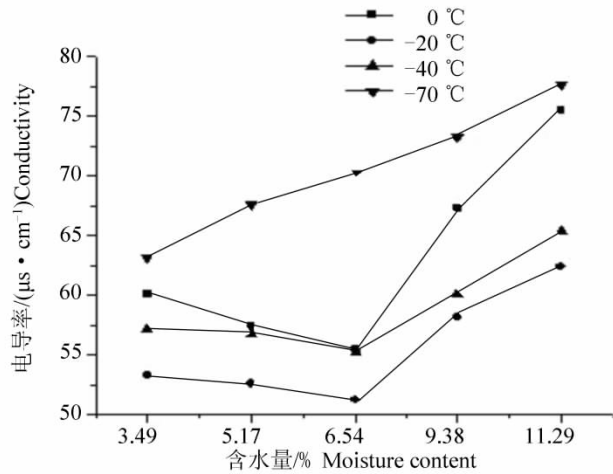


图 1 不同低温保存对不同含水量金钱松相对电导率的影响
Fig. 1 The effects of conductivity in seed of *P. kaempferi* on different moisture content and storage temperature

在同一含水量条件下,不同温度下贮藏的种子电导率值上升的趋势有所不同。随着温度的升高,种子的相对电导率也有增高的趋势。种子含水量在 3.49% ~ 5.17% 内,相对电导率的变化不明显。含水量为 11.92% 时,相对电导率达到最大值。说明膜结构已经遭到一定程度的破坏,引起种子细胞内大量代谢物质外渗,导致种子浸泡液电导率的增高,不利于种子的保存。在 -20 °C、5.17% 和 3.49% 含水量的种子贮藏条件下,贮藏一段时间以后发现电导率的变化并不明显。这可能是因为,在较低的贮藏温度和含水量条件下,种子的膜系统没有受到破坏,细胞没有受到损害,发育良好,有利于种子的保存。

而且从结果中可以看出,当温度和含水量两个因素同时对种子贮藏发挥作用时,含水量的条件变化对种子影响更为突出。由此可知,对于金钱松种子的贮藏,种子含水量与贮藏温度相比,含水量作用更为关键。

2.1.2 贮藏温度和含水量对种子保护酶活性的影响 (1) 贮藏温度和含水量对种子 CAT 活性的影响。CAT 是植物种子中存在的一种非常重要的保护酶,作用是清除细胞代谢中产生的 H₂O₂,避免 H₂O₂ 在种子中积累过多产生过氧化作用而对种子细胞产生危害。

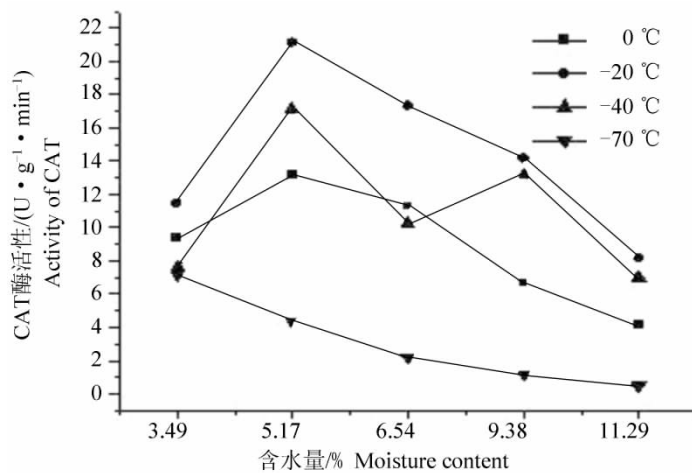


图 2 不同低温保存对不同含水量金钱松种子 CAT 活性的影响
Fig. 2 The effects of activity of CAT in seed of *P. kaempferi* on different moisture content and storage temperature

对不同含水量的种子进行不同的低温处理之后,测定的 CAT 活性结果如图 2。从图 2 中可以看出,金钱松种子经过低温处理之后,随着含水量的增加,CAT 活性有先增加后下降的趋势。当水含量为 3.49%,温度为 0 °C 时,CAT 活性为 9.57 U/(g·min) FW; 并且 CAT 活性在金钱松种子的含水量为 5.17%、温度为 -20 °C 时达到最高值。之后 CAT 活性随含水量的增加而下降,当含水量为 11.29%、温度为 -70 °C 时,CAT 的活性下降到最低,为 1.07 U/(g·min) FW。

通过比较不同含水量种子的 CAT 活性可以看出,对不同含水量的金钱松种子进行不同的低温保存后,其种子的 CAT 活性会随着含水量的变化而发生显著变化。其中当含水量为 11.29% 时,CAT 活性最

低。该结果表明,经该含水量处理后,种子中 H_2O_2 对金钱松种子细胞破坏作用会随着含水量的增加有不同程度的加剧。

(2) 贮藏温度和含水量对种子 POD 活性的影响。POD 是种子中存在的一种活性较高的保护酶,它可以催化 H_2O_2 参与的氧化还原反应,将 H_2O_2 氧化成 H_2O 以清除种子内的 H_2O_2 。不同含水量和低温处理后的金钱松种子的 POD 活性见图 3。

由图 3 可知,不同低温处理的金钱松种子 POD 活性均在含水量为 5.17% 时达到最高值。从图中

可以看出,低温保存后不同含水量的金钱松种子 POD 活性变化与 CAT 活性的变化趋势相似,均在含水量为 5.17% 时活性达到最高值,然后随着含水量的增加活性下降。当含水量为 3.49% 时,POD 活性为 $0.46 \text{ U}/(\text{g} \cdot \text{min}) \text{ FW}$;含水量增加到 5.17% 之后,POD 的活性达到最大值,之后随着含水量的增加活性反而下降,并且在含水量为 11.29% 时活性达到最低值。分析这种变化的原因,POD 作为细胞中的一种调节酶,在一定的含水量条件下,随着含水量的不断增加, H_2O_2 含量也会不断的增加,而导致 POD 的活性被激发;但是当含水量的值超过了一定的范围, H_2O_2 的作用降低会抑制 POD 的抗氧化作用,导致 POD 活性随着含水量的增加而逐渐降低。另外,对不同含水量处理的金钱松种子 POD 活性的方差分析表明,含水量的变化对种子的低温保存有极显著的影响($P = 0.001$),并且呈现在一定范围先增加后降低的趋势。

(3) 贮藏温度和含水量对种子 SOD 活性的影响。SOD 是种子中另一种保护酶,通过参与细胞中的氧化代谢使种子中的自由基发生歧化反应生成 O_2 和 H_2O_2 ,以此保护植物的种子细胞不受外界刺激的影响。不同的温度保存条件下金钱松种子在不同含水量下 SOD 的活性见图 4。

从图 4 可知,超低温保存后,随着含水量的增加,种子的 SOD 活性总体呈下降趋势。当含水量 3.49% 时, SOD 活性最高。之后 SOD 活性随着含水量的增加而降低(5.17% 的含水量除外); SOD 活性在含水量为 11.29% 时达到最低值。这种变化表明,超低温保存后,随着含水量的增加,种子 SOD 的保护作用会降低。因此,在对金钱松种子进行超低温保存时,为维持较高的 SOD 活性,在保存过程中应降低种子的含水量。另外,对不同含水量条件下的金钱松种子 SOD 活性做方差分析和多重比较分析发现,含水量对金钱松种子的 SOD 活性有极显著影响($P = 0.002$)。SOD 活性的最低值出现在含水量为 11.29% 时,并且与其他含水量下 SOD 活性存在着显著性差异。

2.1.3 贮藏温度和含水量对种子 MDA 含量的影响 种子脂质过氧化程度的高低可用 MDA 含量的高低表示,MDA 是种子细胞中存在的一种重要的膜质过氧化产物。种子体内积累多过的 MDA 会对细胞

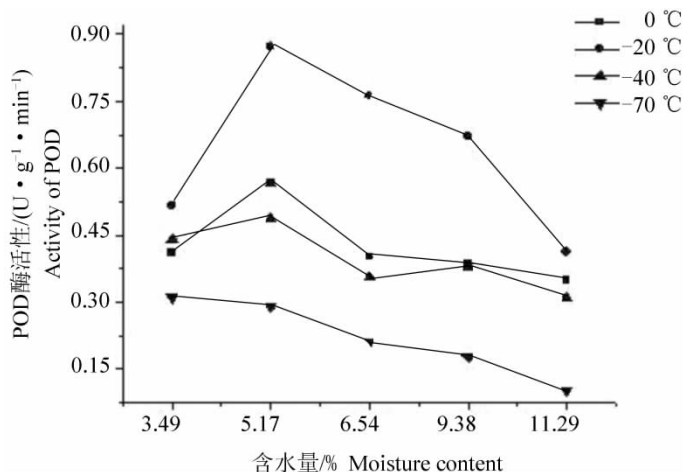


图 3 不同低温保存对不同含水量金钱松种子 POD 活性的影响
Fig. 3 The effects of activity of POD in seed of *P. kaempferi* on different moisture content and storage temperature

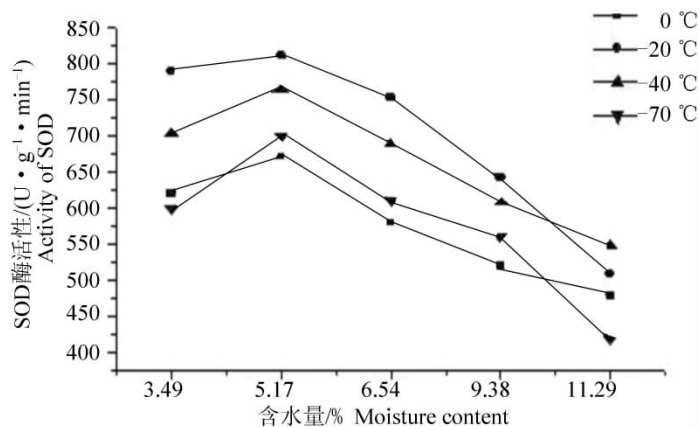


图 4 不同含水量和低温保存下金钱松 SOD 活性的影响
Fig. 4 The effects of activity of SOD in seed of *P. kaempferi* on different moisture content and storage temperature

的膜系统和蛋白质 DNA 产生毒害作用。金钱松种子低温保存后,不同处理的种子 MDA 含量的测定结果见图 5。

从图 5 可以看出,经过不同低温保存的金钱松的种子 MDA 含量随含水量增加而增加。当含水量为 3.49% 时种子中 MDA 含量是最低的;之后随着含水量的不断增加,MDA 的含量也在不断的增加,当含水量为 11.29% 时,MDA 的含量达到最高值。从以上结果可以看出,随着种子含水量的不断增加,种子细胞膜脂质过氧化作用也在增加,从而导致细胞受到影响。由此可知,在对金钱松种子进行保存时,应选择低含水量来降低膜质的过氧化作用,使种子能够保存的更加长久。

2.2 贮藏温度和含水量对种子发芽率的影响

种子发芽率是鉴定种子活力高低的重要指标。不同含水量的种子在贮藏的过程中,发芽率均有变化,变化的趋势为随着含水量的增加发芽率下降。含水量在 11.29% 的种子,发芽率降低的最快;而含水量在 5.17% 和 6.54% 的种子,发芽率较高,可见该含水量是金钱松种子理想的贮藏含水量。从温度看,在 0 ~ 25 °C 内,金钱松种子的发芽率急剧下降;而在 -70 ~ -40 °C,发芽率的变化幅度不大,处理间差异不显著。在 -20 °C 下金钱松种子存放的效果比较好,但随着金钱松种子贮藏含水量的增加,发芽率下降显著(表 1)。由此也可以看出,在温度和含水量两个控制因素中,相比较温度的影响,种子的含水量对其发芽率的影响更为明显。研究结果表明,在相同的种子含水量条件下,种子的发芽率受到贮藏温度的直接影响。-20 °C 温度下贮藏的种子发芽率相比之前变化最小。在相同的温度下,含水量在 5% ~ 6% 内的种子发芽率保持在一个较高的水平。通过相关性分析可发现,含水量与发芽率以及温度与发芽率之间均保持较高的相关性。

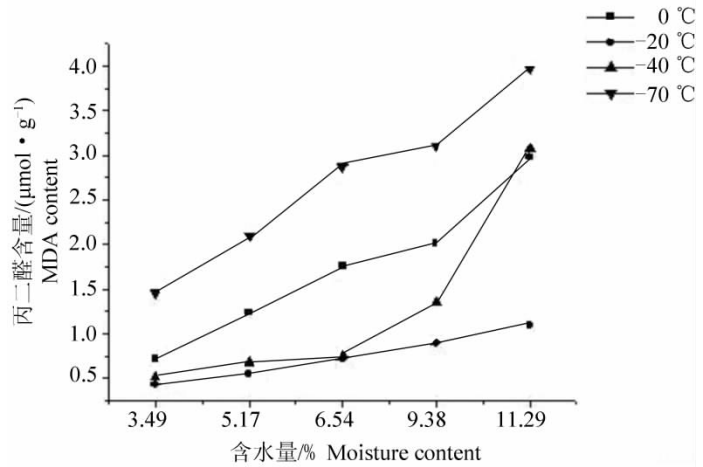


图 5 不同低温保存对不同含水量金钱松种子 MDA 活性的影响
Fig. 5 The effects of activity of MDA in seed of *P. kaempferi* on different moisture content and storage temperature

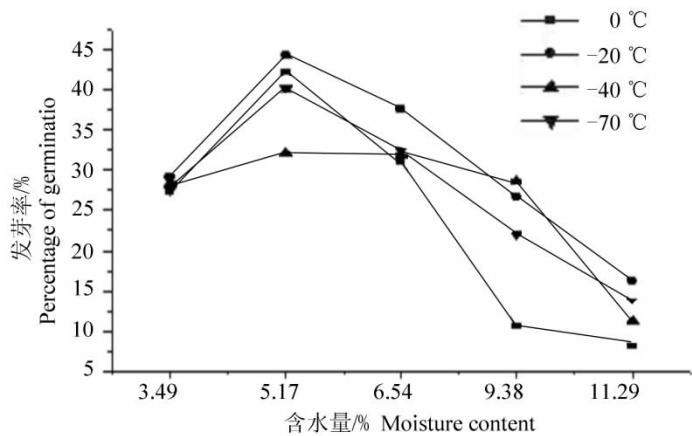


图 6 不同含水量的金钱松种子在不同温度下贮藏一段时间后的发芽率
Fig. 6 The percentages of germination in seed of *P. kaempferi* on different moisture content and storage temperature

表 1 金钱松种子发芽率和含水量的相关性分析
Tab. 1 Correlation analysis of moisture content and percentage of germination in seed of *P. kaempferi*

样品含水量/% Moisture content of sample	关系方程 Equation	R ²
3.49	y = 0.169x + 27.61	0.065 2**
5.17	y = 0.607x + 38.2	0.021 9**
6.54	y = 0.997x + 30.775	0.187 9**
9.38	y = 3.227x + 13.9	0.265 9**
11.29	y = 2.165x + 6.885	0.666 2**

y 为发芽率, ** P < 0.01。

表 2 金钱松种子贮藏温度与发芽率的相关性分析
 Tab.2 Correlation analysis of storage temperature and percentage
 of germination in seed of *P. kaempferi*

贮藏温度/°C Temperature of storage	关系方程 Equation	R ²
0	$y = -370.82x + 50.419$	0.665 6**
-20	$y = -200.27x + 40.865$	0.525 6**
-40	$y = -238.55x + 47.844$	0.485 7**
-70	$y = -244.5x + 44.722$	0.588 6**

y 为发芽率, ** $P < 0.01$ 。

3 结论与讨论

(1) Abdul-Baki 和 Anderson 等^[16]指出长期贮藏的种子发生变化时,会首先产生一些生理生化的反应。例如,膜系统受到破坏,发芽率下降等。朱诚等^[17]研究发现,刚采收的种子 MDA 含量极低,随着贮藏时间的延长,MDA 含量逐渐增加。脂质的过氧化作用会导致种子细胞的膜系统受到破坏,对种子的生理活动产生影响从而导致发芽率的降低。因此,在种子的贮藏时,应该保证种子的膜系统结构和功能的完整性,以此来减缓种子的老化程度,延长种子的保存时间。

许多研究表明,无论是自然老化还是人工老化种子,SOD、POD、CAT 活性随种子劣变程度的增加而降低^[18-21]。金钱松种子经过不同的干燥和低温处理之后,MDA 含量降低,与抗氧化性相关的一系列酶(SOD、POD 和 CAT)活性增高,种子发芽率与 MDA 含量以及抗氧化酶活性表现出高度一致性。

(2) 种子的寿命与贮藏温度和种子的含水量密切相关,在低温低含水量条件下,有利于种子活力的保持。然而,当种子含水量过低,可以导致种子中的部分结构水丢失,引起细胞内物质的变化,使得种子老化的速度加快,不利于种子的保存。当金钱松种子的含水量降至 3.49% 时,贮藏温度对种子活力没有显著差异,但是种子活力远低于含水量为 5.17%、6.54% 的种子,其原因可能有两方面:一是在种子脱水处理中为制备预期超低含水量的金钱松种子所需要的时间较长。一般认为快速干燥比慢速干燥能提高种子的脱水耐性^[22],对于短寿命种子,脱水时间越长,种子生活力下降越快,脱水过程中伴随的自然老化对种子贮藏效果的影响就越大。二是种子极度脱水和吸胀过程中细胞膜系统被破坏,造成超低干燥的种子丧失活力。含水量为 3.49% 的金钱松种子电导率大于含水量为 6.54% 和 5.17% 的种子,说明其细胞膜透性增大,外渗物质增多,形成了胶水伤害。

(3) 金钱松种子最适的贮藏含水量为 5%~6%,最佳贮藏温度为 -20 °C。这与国际植物遗传资源委员会(BPGR)制定的长期保存种子种质的温度条件相符。根据本实验的研究结果,通过对种子进行一定的含水量和温度处理之后,可以有效地利用资源,更好地保存种子种质。

参考文献:

- [1] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [2] 应俊生, 张玉龙. 中国种子植物特有属[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [3] 李楠. 论松科植物的地理分布、起源和扩散[J]. 植物分类学报, 1995, 33(2): 105-130.
- [4] 魏学智. 中国特有植物金钱松的生物学特性及其保护[J]. 武汉植物学研究, 1999, 17: 73-77.
- [5] 颜启传. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 82.
- [6] 程红炎. 种子超干保存种质的研究[D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 1994.
- [7] Diekie J B, Ellis R H, Kraak H L, et al. Temperature and seed storage longevity[J]. Ann Bot, 1990, 65: 197-204.
- [8] Ellis R H, Hong T D, Roberts E H, A low-moisture content limit to logarithmic relations between seed moisture content and longevity[J]. Ann Bot, 1988, 61: 405-408.
- [9] Ellis R H, Hong T D, Roberts E H, et al. Low-moisture-content limits to relation between seed longevity and moisture[J]. Ann Bot, 1990, 65: 493-504.
- [10] 傅立国. 中国植物红皮书: 稀有濒危植物[M]. 第 1 册. 北京: 科学出版社, 1992.
- [11] 贺新强, 林金星, 胡玉熹. 中国松杉类植物濒危等级划分的比较[J]. 生物多样性, 1996, 4(1): 45-51.

- [12]宋红,宋刚,王玲.红松种子超干贮藏研究[J].种子,2009,28(6):30-33.
- [13]中国科学院上海植物生理研究所,上海植物生理学会.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999:305-306.
- [14]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,2001:164-260.
- [15]高峻凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:143-215.
- [16]罗广华,王爱国,邵从本,等.高浓度氧对种子萌发和幼苗生长的伤害[J].植物生理学报,1987,23(13):161-167.
- [17]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.
- [18]Pallares I, Ferrari L, Ritta M. Discrimination between seed storage proteins of *Lotus tenuis* and *Lotus corniculatus* by PAGE [J]. Seed Sci & Teehno, 2000, 28(3):769-777.
- [19]Vladova R, Pandeva R, Peteolieheva K. Seed storage proteinsin *Capsieum annuum* cultivars [J]. Biologia-Plantarum, 2000, 43(2):291-295.
- [20]Tang Shande, TeKrony D M, Egli D B. An altemative model to prediet corn seed deterioration during storage [J]. Crop - Science, 2000, 40(2):463-470.
- [21]方允中,李文杰.自由基与酶:基础理论及其在生物学和医学中的应用[M].北京:科学出版社,1994.
- [22]杨期和,叶万辉,廖富林,等.种子贮藏特性研究的实验影响因素[J].武汉植物学研究,2006,24(5):469-475.

(上接第1081页)

- [3]高芳,徐驰.潜在危险性外来物种:刺萼龙葵[J].生物学通报,2005,40(9):11-12.
- [4]Bah M, Gutierrez D M, Escobedo C, et al. Methylprotodioscin from the Mexican medical plant *Solanum rostratum* (Solanaceae) [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2004, 32(2):197-202.
- [5]魏守辉,张朝贤,刘延,等.外来杂草刺萼龙葵及其风险评估[J].中国农学通报,2007,23(3):347-351.
- [6]林玉,谭敦炎.一种潜在的外来入侵植物:黄花刺茄[J].植物分类学报,2007,45(5):675-685.
- [7]刘勇,廖芳,杨秀丽,等.重要检疫性杂草刺萼龙葵分子生物学检测的研究[J].植物检疫,2011,25(2):51-54.
- [8]高芳,徐驰,周云龙.外来植物刺萼龙葵潜在危险性评估及其防治对策[J].北京师范大学学报,2005,41(4):420-424.
- [9]魏守辉,张少逸,张朝贤,等.防除刺萼龙葵的除草剂初步筛选[J].农药,2011,50(5):377-379.
- [10]曲波,王承旭,赵丹,等.3种除草剂对苗期刺萼龙葵的防除试验[J].草业科学,2011,28(4):614-617.
- [11]Wei S H, Zhang C X, Chen X Z, et al. Rapid and effective methods for breaking seed dormancy in buffalobur (*Solanum rostratum*) [J]. Weed Science, 2010, 58:141-146.
- [12]Wei S H, Zhang C X, Li X J, et al. Factors affecting buffalobur (*Solanum rostratum*) seed germination and seedling emergence [J]. Weed Science, 2009, 57:521-525.
- [13]农业部农药检定所生测室.农药室内生物测定试验准则 除草剂 第4部分[M].北京:中国农业出版社,2006:1-3.
- [14]刘长令.世界农药大全[M].北京:化学工业出版社,2002:312-313.
- [15]张朝贤,张跃进,倪汉文.农田杂草防除手册[M].北京:中国农业出版社,2000:256-257.
- [16]徐汉虹.植物化学保护[M].北京:中国农业出版社,2007:197-198.