

种子超干贮藏技术应用面临的问题和研究方向

程红焱

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要: 种子超干贮藏技术对种质资源保存具有很大的应用前景, 但鉴于目前的研究进展, 其应用还存在诸多技术上的问题。本文对种子超干贮藏技术在种子库中应用所面临的挑战以及需要开展的研究内容进行了如下几个方面的讨论: 种子贮藏安全含水量下限的多样性决定了超干技术应用的复杂性; 超干贮藏含水量安全下限的确定尚未有可靠的方法; 超干贮藏的种子吸胀前需要恰当的预处理以避免吸胀损伤; 超干处理前外源抗氧化剂预处理可能改善超干贮藏效果; 无氧条件可能对超干贮藏具有增效作用; 糖类物质以及两性物质对种子在超干处理及超干贮藏过程中的保护作用。

关键词: 种子库; 超干贮藏技术; 问题; 研究方向

中图分类号: Q 945

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700(2006)01-059-10

Challenges on the Application of Seed Ultradry Storage in Seed Banks

CHENG Hong-Yan

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Although the technology of seed ultradry storage is promising in plant germplasm conservation, particularly in areas where the refrigerated facilities are not always possible, its application in seed banks still has many challenges. The paper discussed this issue and gave some suggestions on what are the necessary researches in this field to improve its feasibility of application in seed banks.

Key words: Seed bank; Ultradry storage technology; Challenge

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 (程红焱, 2005a), 但要真正普遍应用于种子库, 在技术可行性上还存在很多困难, 这也为种子生物学家们提供了一个非常值得研究的课题。基于目前已有的研究, 可能有望首先在油类种子或小粒种子的长期保存中应用此技术。以下对种子超干贮藏技术的应用所面临的几个问题以及研究方向进行讨论。

1 种子贮藏安全含水量下限的多样性决定了超干技术应用的复杂性

种子在入种子库之前, 为了获得最长的种子贮

藏寿命, 种子需要在一定的相对湿度中平衡水分, 使得种子的含水量达到临界含水量 (Roberts and Ellis, 1989; Ellis 等, 1989, 1990, 1992; Vertucci and Roos, 1990, 1993a; Vertucci 等, 1994)。此时, 种子水分平衡所采用的相对湿度称为临界相对湿度。在临界相对湿度中平衡水分后的种子, 含水量应该是种子的最佳贮藏含水量。超干贮藏研究的大量事实证明, 临界含水量不能简单地以 5% 一概而论。种子是否适合超干贮藏以及最佳贮藏含水量的确定, 不仅因种而异, 而且在品种间也存在差异。

弗洛朗和颜启传 (2001) 以 17 个芝麻品种的种子为材料, 对芝麻种子在 32 条件下超干贮藏

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30470183)、科技部国家科技基础条件平台工作项目 (2004DKA30430)、中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2-SW-117) 资助

收稿日期: 2005-08-04。(特邀稿 invited review)。

作者简介: 程红焱 (1967-) 女, 理学博士, 副研究员, 主要从事种子生物学的教学和研究。

E-mail: hycheng@ibcas.ac.cn Tel: (010) 62836049

56 d 后进行生活力测定, 发现所有的种子仍然保持较高的生活力和活力, 但种子的耐藏性有差异, 强弱有如下趋势: 褐芝麻 > 黑芝麻 > 白芝麻 > 黄芝麻; 超干种子经高温 (50) 老化处理 14 d 后, 具有相似的生活力和活力变化趋势。

中国大豆品种 ‘黑河 5 号’ 种子的含水量降低到 5% 以下时, 种子开裂, 干裂率高达 87%; 而在同样的种子干燥条件下, 英国大豆品种 ‘Friskeby 5’ 种子的干裂率只有 17.65%。去种皮实验证明种皮对防止大豆种子干燥破裂和吸胀损伤甚为重要, 决定大豆品种间干燥破损度差异的主要因素是品种固有的遗传特性 (景新明和郑光华, 1994)。

支巨振和毕辛华 (1991) 对水稻种子进行了超干燥贮藏的研究, 结果发现不同类型的水稻种子, 耐受超干燥的能力不同。籼稻种子含水量降到 4% ~ 5% 以下时, 生活力稍有降低, 但当含水量降为 2% 时, 生活力和活力急剧下降; 而粳稻对低含水量更为敏感, 当含水量降至 7% 以下时, 种子发芽率就开始降低。朱诚等 (2001) 以籼稻、粳稻、杂交稻等不同品种的种子为材料, 研究了品种之间种子耐超干能力的差异及其与热稳定蛋白的关系。结果表明, 供试的粳稻品种 ‘春江 15’ 和 ‘春江 683’ 种子不耐超干, 当含水量降低至 4.5% 以下时, 种子发芽率和活力指数极显著地下降; 而籼稻品种 ‘J106’ 和 ‘J174’ 种子耐受超干的能力较强, 含水量降低至 3.5% 以下时种子的发芽率和活力指数没有受到影响; 杂交稻 ‘汕优 63’ 和 ‘中香糯’ 种子耐超干的能力介于籼稻和粳稻之间。种子蛋白的电泳图谱显示种子耐超干能力强的品种中存在一个特异性的热稳定蛋白条带, 其分子量为 36.3 kDa, 而种子不耐超干的品种中无此条带, 这表明水稻种子的耐超干能力与该热稳定蛋白有关。

程红焱等 (1994) 以 7 种不同种子含油量的油菜品种的种子 (含油量分别为 34.86%、36.93%、37.02%、39.09%、40.64%、45.05%、46.07%) 为材料, 研究了种子含油量与超干处理效果的关系。结果表明, 含油量为 40% 以上的油菜种子的超干贮藏效果, 强于含油量低于 40% 的种子。

种与品种间的种子超干贮藏效果的差异与种子的组成成分有关, 化学组成决定了种子内水分存在的不同状态及其相对比例, 从而决定了种子最佳贮藏含水量的多样性。这就为种子超干贮藏技术的应用带来了具体的可操作性的问题, 对于种子

库, 不可能对每一个物种以及其不同品种的种子的耐干程度以及最佳贮藏含水量进行测定, 需要找到一个通用的简便易行的方法来确定超干贮藏安全含水量的下限。

2 超干贮藏含水量安全下限的确定尚未有令人信服的方法

迄今为止, 种子贮藏的最佳含水量的确定仍然没有令人信服的方法, 国际上对种子贮藏临界含水量值的确定仍存在争议。以下将此方面的研究状况做一介绍。

种子水分含量可以用每克鲜重或干重种子中水分克数的百分比表示, 但只能指出水分与其他种子组分的相对比例, 不能反映水分的存在状态, Vertucci 和 Leopold (1984, 1987) 认为水的化学势 (μ_w) 和水的活化度 (w) 能表示种子中水分的存在状况。 μ_w 是决定一个化学反应能否发生的重要因素, 但实际测定 μ_w 的值很困难。 w 描述了在一定温度下水参与化学反应的能力, 大约等于相对湿度 (RH) 的值。RH 比较容易测定, 因此用 RH 值来表示水的活化度, 可以较为确切地描述种子内的水分存在状况。对于种子最佳贮藏含水量的确定, Vertucci 和 Roos (1993b) 提出, 当 $RT \ln (RH/100)$ 的值在 $-1.4 \sim 4.0 \text{ kJ mol}^{-1}$ 范围内时, 种子水分含量为最佳贮藏水分水平, 其中 R 为气体常数 $8.31433 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, T 为温度 (单位以 K 表示), 在给定的含水量下, 相应的 $\ln (RH/100)$ 值与开氏温度的倒数相关, 因而讨论种子最佳贮藏含水量的问题时, 应该首先明确种子是在怎样的温度下贮藏作为讨论的前提, 才有实际的意义。但是, 目前多数关于超干种子贮藏效果的研究, 由于采用高温人工老化条件来确定超干种子的耐藏性, 所以研究结论只能说明是在人工老化温度下种子的贮藏含水量是否适宜, 不能反映常温下种子安全含水量的状况。

种子水分吸附等温线 (water sorption isotherms) 是在给定温度下种子含水量随平衡相对湿度变化的曲线, 含水量随相对湿度的增加而呈现先缓慢增长, 然后快速增加, 既而再缓慢增长的规律, 增长曲线一般呈 S 型, 对应于 3 个不同的含水量增长阶段, 把种子水分分为第一、二、三区域水分 (region 1, region 2, region 3)。种子水分吸附等温线可以用来大致推算给定贮藏温度下的种子贮藏的临界相对湿度, 从而确定最佳的种子贮藏条件。Walters

和 Hill (1998) 以小麦、硬质小麦、水稻、粟、花生、大豆、芝麻、亚麻、大白菜、洋葱、黄瓜、辣椒、芦笋、花椰菜、甘蓝、葱、甜瓜、萝卜、番茄和油菜等为材料，研究了温度和种子水分对以上 20 多个种和品种的种子老化速率的影响。为了确定温度和相对湿度与种子含水量的关系，测定了在 5、25、45 °C 时种子的水分吸附等温线，由此推断种子贮藏的临界相对湿度。研究结果表明种子贮藏的临界相对湿度与种子的物质组成有关，在给定相对湿度和温度下种子的含水量与含油量呈线性负相关，高含油量种子的含水量较低，在相对湿度为 5.5 ~ 61 范围内线性回归系数 r^2 值为 0.75 ~ 0.85。高含油量种子的超干燥贮藏效果好于高淀粉和蛋白质含量的种子，即含油量高的种子安全含水量下限较低。

Van t Hoff 和 D Acry watt 热力学分析方法可以推断组织对水分的束缚能力以及各种存在状态的水分比例。根据 D Acry watt 方程式：

$$W = [KK (p/p_0)^{-1} + K(p/p_0)] + [c(p/p_0)] + [kk (p/p_0)^{-1} + k(p/p_0)]$$

(其中 p/p_0 为相对水汽压，在一定温度下的密闭空间内达到水汽平衡后为固定值)

种子中的水分 W 由 3 部分组成，第一部分为 $[KK (p/p_0)^{-1} + K(p/p_0)]$ ，对应于水分吸附等温线上的第一区域 (region 1) 的水分，以单个水分子结合于强吸附位点，一般与离子基团结合，全部为束缚水，其中 K 和 K 分别代表强吸附位点对水分的吸附力量和吸附位点数目，一般在相对湿度小于 15% 时，这部分水分仍存在于细胞中，其是否保留决定细胞的存活；第二部分为 $[c(p/p_0)]$ ，对应于水分吸附等温线上的第二区域 (region 2) 的水分，以多个水分子结合于弱吸附位点，一般以氢键与蛋白质的酰基和多糖的羟基等非离子基团结合，与第一部分的水分同属于不结冰水，但其中可能只有部分水分属于束缚水，一般在相对湿度为 20% ~ 60% 时存在于细胞内，其中 c 表示水分吸附位点对水分子的亲和性，与吸附力量和吸附位点数目有关；第三部分为 $[kk (p/p_0)^{-1} + k(p/p_0)]$ ，对应于水分吸附等温线上的第三区域 (region 3) 的水分，一般与大分子的疏水端结合或吸附于其他水分子上，属于松散结合的自由水，一般在相对湿度大于 60% 时存在于细胞内。在给定温度下，根据不同相对湿度下达到水分平衡后所测定的种子含

水量，获得 W 和 p/p_0 值，通过若干组数据解方程式得到 K 、 K 、 c 、 k 、 k 值，即可推算出 3 部分水分的含量，种子临界含水量应该不低于第一部分水分的含量 (Vertucci and Roos, 1990)。

程红焱等 (1996) 以油菜、芝麻、花生、大豆和榆的种子为材料，用 Van t Hoff 和 D Acry watt 热力学分析方法对种子水分的热力学吸附特征进行了分析，发现对超干处理较敏感的榆树和大豆种子的热力学参数 K 与 K 值比油菜、芝麻和花生等耐干种子的小，即在低的相对湿度环境中种子对水分的吸附力量和吸附位点数目都比耐干种子的小。

伍贤进等 (2001) 以耐超干的菜心种子和不耐超干的豇豆种子为材料，研究了超干对其活力和水分吸附等温线及热力学参数 (S 、 H 、 G) 的影响。超干使红豇豆种子活力下降，超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 的活性降低，细胞膜结构受损，这些变化既发生在水分降低的种子干燥过程中，又发生在超干种子的贮藏过程中，菜心种子的活力与 SOD、POD 的活性受超干的影响小，超干对细胞膜的轻微损伤可在萌发吸胀时得到修复，超干种子水分吸附等温线上第一、二区域的水分明显下降；超干种子除 S 和 H 在第一区域略有升高外，在第二、三区域以及 G 在各区段均有程度不同的下降；这些改变尤以豇豆种子较显著，说明豇豆种子的水分束缚能力低，较易失去水分吸附等温线上第一区域的强吸附水，继而引起大分子结构的改变，种子活力降低；而菜心种子则相反，能在超干状态下较好地保持酶的活性和细胞膜的结构，故适宜超干贮藏。曾广文等 (1998) 研究了不同超干程度的红花种子中的水分状态，结果显示自由水/束缚水比例随着超干种子内含水量的降低而减小。

用核磁共振 (nuclear magnetic resonance, NMR) 技术可以测定种子中水分状态的变化，并指示种子的安全含水量下限。NMR 波谱峰形的宽窄可以指示自由水的含量，自由水含量高时，种子的耐藏性下降。当种子失去所有的自由水而只保留束缚水时 (此时自由水的波谱峰消失)，即可认为种子达到最佳贮藏含水量，此时若继续脱水，将失去与细胞结构紧密结合的束缚水，造成细胞伤害。姜孝成等 (1996) 采用 NMR 测定了不同贮藏条件下杂交水稻种子中水分状况的变化及其与种子活力变化的关系。水稻 ‘汕优 63’ 种子脱水至 12.0% 时，自由

水占的比例仍很大,这部分水可在硅胶脱水条件下继续失去,而不影响种子生活力。当种子脱水至 5.6% 时,自由水的波谱峰消失,可认为 5.6% 是其最佳贮藏含水量。种子若保持此含水量水平贮藏 1 年,发芽率为 90%,而在开放的贮藏条件下保存的种子,发芽率为 62%。

近几年,国际上已经开始利用老化速率动力学的研究手段,如采用电子顺磁共振 (electron paramagnetic resonance, EPR)、饱和迁移电子顺磁共振波谱 (saturation transfer electron paramagnetic resonance spectroscopy, ST-EPRS) 和极性分子探针标记等技术测定种子和花粉细胞内的分子运动 (molecular mobility),从力学和热力学角度研究了温度和含水量与种质老化速率的关系,依据分子运动速率确定种子和花粉的最佳贮藏条件,提出更为合理的预测水分和温度对种质寿命影响的动力学模型,为如何有效预测种质保存的最佳贮藏条件和种质寿命,以便及时更换保存样本等方面的研究提供了新的途径,这对于植物种质资源长期保存的研究具有重要的理论和实践意义 (程红焱和宋松泉, 2004; 程红焱, 2005b)。

以上的几种确定种子最佳贮藏含水量的研究方法,只是对某些物种种子的初步研究,还缺乏广泛数据的支持。

3 超干贮藏的种子吸胀前需要恰当的预处理以避免吸胀损伤

膜系统是脱水引起细胞的损伤和死亡的原初位点之一,细胞膜系统完整性的保持对种子超干贮藏后是否能够正常萌发至关重要。某些种子 (尤其是高淀粉或和高蛋白含量的种子),不宜将水分降得过低,种子不仅在超干处理的过程中可能会受损,而且在萌发初期会发生吸胀损伤。但在超干燥之前通过适当的渗透调节处理和萌发前的逐步回湿处理,有可能将损伤有效减轻或消除。

胡小荣等 (1999) 在超干燥红麻种子吸胀前,对种子进行回湿处理,可以有效地解决吸胀损伤问题。赵鹏和朱诚 (2000) 将黄瓜种子含水量降至 5% 以下,若种子直接吸胀,会引起不同程度的活力指数下降,但若在种子吸胀前进行回水处理,种子发芽率和活力则不会降低,电导率、脱氢酶活性的测定结果也表明回水处理是保证超干种子活力的关键因子,用此方法确定了红麻种子的最适超干度

为含水量 2% 左右。

支巨振和毕辛华 (1991) 认为,超干处理后水稻种子活力的下降主要来自于吸胀损伤,采用饱和水汽回湿处理 2 d,可明显提高超干种子的活力。张云兰等 (1994) 对绿豆和谷子等作物的超干种子进行不同回湿方法的比较实验,认为同一品种的种子,其高水分种子与低水分种子所适应的回湿方法是不同的,应根据其种子水分高低的不同而采用适当的回湿方法。采用不同浓度的 PEG 对超干种子进行回湿处理,发现 PEG 的浓度对其渗透调节的影响很大,如果使用不当,不但起不到渗透调节的作用,反而可能会影响细胞膜系统的修复。

郑郁善等 (2002) 研究了不同浓度 PEG、不同处理时间的渗透调节处理对杉木、马尾松和黑松的超干种子活力的影响。结果表明,PEG 的渗透调节处理对超干杉木和马尾松种子的发芽率和活力有明显的提高作用。种子水分越低,回湿处理的效果越明显,不同 PEG 浓度及不同的处理时间对种子活力的影响不同,杉木和马尾松种子均以 20% PEG 的处理效果最好,10% PEG 处理次之,25% PEG 最差。张明方等 (1999) 研究了洋葱超干种子保存的效果及超干对膜系统的影响。洋葱超干种子室温下抗老化能力增强,耐藏性提高,但超干种子直接吸胀会引起胚的断裂以及种子活力的下降,但在吸胀前进行回水处理可以减轻吸胀损伤;超干处理大大增加了苏氨酸的渗漏,回水处理可有效防止过多的渗漏;经回水处理的老化超干种子较未超干的对照老化种子的氨基酸和无机离子的泄漏量要少得多;洋葱种子渗漏损失的氨基酸以组氨酸和苏氨酸为多;超干还增加 Ca^{2+} 的渗漏,但在种子吸胀前进行回水处理,渗漏量显著减小。

超干处理前的渗透调节处理以及萌发前的逐步回湿处理,均有利于保持种子细胞膜结构与功能的完整性,处理效果与种子中保护性物质如寡糖等的化学组分和含量有关。汪晓峰等 (1999) 应用荧光探针 1,6-二苯基 1,3,5-已三烯研究了种子超干处理对膜流动性的影响。种子经超干处理后,在人工老化和自然老化条件下,与 -20 条件下贮藏的种子相比,超干贮藏种子的细胞膜微粘度无显著变化,过干的贮藏种子的细胞膜微粘度虽然有所偏高,但也低于高含水量的室温贮藏种子。对超干种子的膜功能与糖组分的分析表明,白菜和榆树种子经超干处理后,在人工老化和自然老化条件下,与在 -

20 条件下贮藏的种子相比，超干贮藏种子质膜 ATP 酶的活性和细胞膜的微粘度无显著变化，过干贮藏种子质膜 ATP 酶的活性和细胞膜的微粘度虽有所下降，但仍比高含水量室温贮藏的对照种子为好。此结果与超干种子具较高活力水平完全一致。说明超干贮藏种子保持了质膜的生理功能，从而提高了种子的耐藏性。高效液相色谱分析结果显示超干种子中还原糖/非还原糖的比值低于高含水量种子，积累的蔗糖和水苏糖的含量与超干种子的耐干能力有关。玉米种子中不含水苏糖，这可能是玉米种子不宜过度干燥的原因之一（汪晓峰等，2003）。

4 超干处理前外源抗氧剂预处理可能改善超干贮藏效果

目前，多数学者认为种子劣变的原因是脂质过氧化，脂质过氧化始于自由基的产生（McDonald, 1999）。细胞内过多的自由基有较强的氧化作用，能引发膜上不饱和脂肪酸产生过氧化反应，引起蛋白质、DNA 和 RNA 等生物大分子的损伤（Miller, 2001; Apel and Hirt, 2004）。在超干种子中，极度脱水导致细胞膜外围的水膜连续界面被破坏，使膜上敏感位点的大分子暴露而易受活性氧的伤害，加速了膜脂过氧化的连锁反应，最终导致种子细胞的衰老和种子活力的下降。但 Priestley 等（1985）认为种子中的自由基在低水分下运动受阻、攻击力减弱。曾广文等（1998）研究了不同超干程度的红花种子中自由基水平的变化，发现超干处理引起内外种皮中自由基的急剧增加，而胚中自由基含量的上升发生在超干种子的老化期间，超干或超干后又经人工老化的种子在高湿度的环境中，回水处理能使胚中自由基的水平大幅度下降，认为超干造成种子萌发率和种子活力的降低，是由于活性氧自由基的伤害。朱诚等（2001）报道在同等老化条件（50 ℃，45 d）下，洋葱超干种子保持较高的自由基清除系统中 SOD 和 CAT 的活性，而对照种子的酶活性则明显下降。任晓米等（2001）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。经过一定时间常温贮藏的白菜（程红焱等，1991）、油菜和黄瓜（Zeng 等，1998）等超干种子，在吸胀萌发后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，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好，为种子在随后的萌发过程中清除细胞内因脂质过氧化产生的毒素奠定了有利的基础。朱诚等（2001）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，发现种子中 MDA 和 H₂O₂ 含量、超氧阴离子自由基产生速率和脂氧合酶（LOX）的活性明显低于含水量为 7.1% 和 1.2% 的种子，而抗氧化酶超氧化物歧化酶（SOD）、抗坏血酸过氧化物酶（APX）、过氧化氢酶（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%），据此认为对脂质过氧化的抑制作用是适度超干种子耐贮藏的生理原因之一。芥兰种子开放贮藏时的生活力和活力下降得很快，张施君和陈润政（2003）研究了超干种子（含水量为 4.91%、3.25% 和 2.84%）1 年的贮藏结果，显示其耐藏性有很大的提高，其中以 2.84% 含水量的芥兰种子的贮藏效果为最好，其抗老化能力、SOD 和 CAT 的活性增强，认为对脂质过氧化的抑制作用是超干种子耐贮藏的原因。胡家恕和朱诚（1999），胡家恕和曾广文（2000）报道红花种子（含水量 9.01%）室温贮藏 3 年后，发芽率、活力指数、CAT 和 SOD 活性均明显下降，而同期室温下超干贮藏的种子（含水量 1.18%）发芽率和活力指数仍保持在原来的水平；CAT 和 SOD 活性水平与低温贮藏种子的相同。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。

抗氧化系统分为酶促抗氧化系统和非酶促抗氧化系统。在超干处理以及其后的超干贮藏过程中酶促抗氧化系统能否保持其活性，对于超干种子在吸胀时能否发挥清除活性氧自由基的作用至关重要。但酶促反应需要水分作为反应介质，在干种子中缺少足够的水分，虽然超干种子在贮藏过程中，种子内 SOD、POD 和 CAT 仍保持较高的活性，但种子在超干状态下这些酶促反应是否发生还不清楚，可能只有在吸胀几小时后才开始起作用。在超干种子中存在的非酶促抗氧化系统，包括 β -胡萝卜素、抗坏血酸（ascorbic acid, AsA）、 γ -生育酚（ γ -tocopherol）、还原型谷胱甘肽（reduced glutathione, GSH）等，可能是发挥清除活性氧自由基的主要成分。程红焱（1994）测定了不同含水量的油菜种子中的 AsA、 γ -生育酚和 GSH 的含量，发现这些抗氧

化剂的含量与种子脱水程度无关。经过老化后 AsA 和 GSH 的含量在不同含水量的种子中以相同的幅度下降, 可以认为在超干贮藏过程中 AsA 和 GSH 对清除活性氧的能力与种子在较高含水量时一样。但 γ -生育酚的变化则不同, 经过同等老化处理后超干种子的 γ -生育酚含量比对照种子高, 一方面表明种子劣变程度低, 消耗的 γ -生育酚要少, 另一方面也表明超干种子具有相对高的 γ -生育酚含量, 清除活性氧的潜在能力比高含水量种子强。张明方等 (1999) 对超干洋葱种子进行了抗氧化剂的研究, 经同样时间的人工老化后, 超干种子中还原型 AsA 和 γ -生育酚的含量明显高于未超干种子, 而且在随后的吸胀过程中仍然保持较高的水平。

鉴于以上研究事实, 可以尝试通过吸湿回干的渗调预处理引入外源抗氧化剂, 再进行超干处理, 有可能提高种子的耐干性和超干贮藏的效果。程红焱 (1994) 初试了用容易渗透进细胞的小分子非酶类抗氧化剂对超干种子的防护作用。水溶性的抗氧化剂 VC 与还原型的 GSH 以及能猝灭羟自由基和单线态氧的苯甲酸钠, 由于必须溶解于水中才能被带入种子内部, 而水分进入种子内部的量很难控制, 所以防护效果不理想。由丙酮携带脂溶性的抗氧化剂如 β -胡萝卜素 (1%)、VE (1%) 以及人工合成的化学物质 2, 6-二叔丁基对甲氧基酚 (BHT) (0.1%) 渗入种子, 浸种 60 min 后将丙酮挥发掉, 反复此过程 4 次, 可以起到一定的防护作用。油菜种子在 40 °C, 100% RH 条件下老化至第 5 d 就会死亡, 而经过外源抗氧化剂处理的种子, 抗人工老化能力明显提高。老化 6 d 后, 0.1% BHT 处理的种子仍有 97% 的萌发率, 活力指数可以达到 2.43; 1% VE 处理的防护效果更佳, 种子发芽率为 98%, 活力指数可达到 3.32。BHT 与 β -胡萝卜素也能延缓榆树种子的衰老, 种子采收后经室温贮藏 10 d, 对照种子活力下降, 发芽率为 88%、活力指数为 2.78, 而采收后经过 1% β -胡萝卜素和 0.1% BHT 处理的种子发芽率均为 91%、活力指数分别为 3.18 和 3.76, 其中 BHT 的防护效果更佳。红花种子富含不饱和脂肪酸, 易受活性氧的攻击, 此类种子是研究抗氧化剂在超干处理中的防护作用的理想试材。红花种子超干至含水量 1.0% 时, 活力稍有下降; 以 250 ppm 的 BHT 丙酮溶液处理两个红花品种 '吉红 1 号' 和 'S-400' 的种子, 然后将种子超干处理至含水量 1.0%, 红花种子的活力水平与超干处理前

相比没有显著差异, 说明此处理方法能增加红花种子的耐干性, BHT 在红花种子的脱水过程中起了一定的保护作用。从人工老化后和室温贮藏一年后的种子活力情况, 可以看出红花种子抗人工老化和自然老化的能力都有所增强, 人工老化后的对照红花种子已丧失活力, 而经过同样人工老化处理超干贮藏的种子仍有 61% 和 77% 的发芽率, 外源加入 BHT 的超干种子的活力水平比没有加 BHT 的超干种子还要高。自然贮藏一年后, 对照种子已基本上失去萌发能力, 而红花超干种子仍保持有一定活力水平, 从积累的 MDA 含量来看, 外源加入 BHT 的种子中积累的 MDA 量要减少, BHT 能在一定程度上减轻脂质过氧化毒害从而延缓种子的老化进程。

用不同浓度的 BHT 以不同时间处理家榆种子和红花种子, 发现浓度太高对种子有害, 浓度太低又起不到防护作用, 处理时间也很重要, 对于家榆种子以 250 ppm 的 BHT 丙酮溶液处理 30~45 min, 对提高种子抗老化能力最有利。对于红花种子的最佳处理条件为 250 ppm 的 BHT 丙酮溶液处理 4 h。对于不同的种子最适宜的抗氧化剂有所不同, 这很可能与种子内部起主要毒害作用的自由基类型有关。但是从整体来看 BHT 的防护效果普遍都比较理想, 鉴于 BHT 为廉价的人工合成化合物, 选用它做为防护种子内部脂质过氧化的防护剂比较适合推广应用。

5 无氧条件对超干贮藏的增效作用

1972 年, Harman 在 "The biological clock: The mitochondrial?" 一文中阐述了线粒体的功能与衰老的关系, 此后又提出线粒体衰老的概念, 指出活性氧自由基对线粒体 DNA 的损伤比对核 DNA 的损伤程度高 16 倍, 原因一是由于线粒体是种子中活性氧产生的主要部位, 线粒体 DNA 更接近于活性氧自由基的产生源而易受攻击, 二是在线粒体内缺乏 DNA 修复机制, 并推论随着老化的进程, 线粒体 DNA 的亚单位受活性氧损伤的程度增大, 特别是超氧阴离子自由基和 $\cdot\text{OH}$ 对膜的损伤首先会使线粒体 DNA 的翻译能力降低。由于线粒体 DNA 载有线粒体内膜上很多重要成分的遗传密码, 因此线粒体 DNA 功能的下降会导致线粒体内膜蛋白合成速率的减慢, 从而影响取代已被自由基损伤的内膜成分, 以至跟不上修复内膜的需要, 另外, 由于线粒体 DNA 的损伤, 新合成的内膜蛋白可能已经变性, 不能取代已损伤的蛋白, 最终也可以导致缺损的线

粒体内膜不能被修复。

有人在研究氧的应激态所导致的衰老过程中线粒体的作用时指出，氧应激状态的加强表明线粒体中产生活性氧自由基的量增多。呼吸代谢中氧是在线粒体中被利用，线粒体的老化和氧的消耗成正比。在代谢升高的情况下耗氧量增加，如果线粒体防御体系略有不平衡，就会使高耗氧量在线粒体内产生过多的内源性自由基，从而使线粒体内膜受损。由于种子几乎处于生命静止的状态，呼吸极其微弱，基本上已失去正常代谢对氧的需求。氧的存在对于种子呼吸代谢已没有多大的意义，尤其在超干种子中由于大分子外所包围的水膜界面已不连续，增大了与自由基接触的机会，因此氧对种子的不利便显得更加突出。程红焱（1994）初试了无氧超干贮藏的效果，发现同样是 2.0% 含水量的种子，在近似真空状态下 $[-0.09 \pm (-0.01) \text{ mbar}]$ 超干贮藏的种子比有氧状态下超干贮藏的种子活力要高。这一现象表明在超干贮藏过程中氧的存在不利于榆树种子活力的保持。榆树种子以 2.0% 含水量贮藏，虽然寿命从 1~2 个月延长到了一年，但种子的活力水平还是逊色于高含水量种子在 -20 与液氮中的贮藏效果；除去氧之后，对于超干贮藏具有增效作用，使其贮藏效果更接近于低温贮藏。

种子在超干贮藏过程中能够保持酶类抗氧化剂的活性，加入外源的非酶类抗氧化剂可以对超干贮藏有增效作用，一旦种子吸水萌发，酶类抗氧化剂启动，协同非酶类抗氧化剂共同清除自由基，使得种子在刚刚结束生命静止状态进入生命活动期就处于一个良好的发育环境，同时配合无氧的贮藏条件，可能是扩大超干贮藏技术应用范围的一个途径。过去认为，超干种子由于水分的过度丢失，导致大分子失去水膜保护而易受活性氧的攻击，从而加剧了脂质过氧化物的发生。但现在看来，一是由于脱水至适当的含水量对种子中大分子外的水膜还没有造成破坏，即结构水仍然保留着，二是由于水分降低使得以水为反应介质的有害生化反应受到抑制。即使在极度超干的种子中，因部分结构水丢失而增加了过氧化发生毒害的负效应，但低水分含量同时也减小了有害的劣变反应的化学势，加之仍然保持着高质量的自由基清除系统等这些正效应，可以部分地或全部地补偿超干所增加的过氧化发生的毒害的负效应，超干提高种子耐藏性可能是其产生的正负效应总和的结果，这就涉及到种子脱水到何种程度才能

达到这种总和结果为正效应的状态，也就是说需要继续探索超干贮藏的最佳含水量水平的问题。

6 糖类物质以及两性物质对种子在超干处理及超干贮藏过程中的保护

种子脱水至一定的含水量，细胞膜由流动相转变为凝胶相。细胞膜在失去水分时，在低水分下某些物质可以替代水分子通过氢键与极性大分子结合，从而避免细胞膜由于水分的丧失导致不可逆的伤害，在含水量极低的状态下起到稳定膜系统的作用。Crowe 等（1992）的研究表明，脱水过程中能产生大量的双糖，双糖能与膜磷脂的极性头部之间形成氢键，氢键使每个磷脂分子之间保持一定的空间距离，从而使得膜的液晶态得以保持。据此，可以尝试用外源糖类物质防护超干处理可能带来的膜系统的损伤。

但是，即使干组织中所有的糖分子与磷脂形成氢键也不足以保护膜系统；因而认为还有其他物质参与了与膜相变相关的物理和化学过程（Hoekstra 等，1997）。干种子、花粉和复苏植物中存在大量的两性物质，如苯酚、类黄酮和生物碱，这些物质被认为能够阻止脱水引起的膜相变，同时它们又是有效的非酶类抗氧化剂（Hoekstra 等，1997；Oliver 等，1998；Shirley，1998）。Crowe 等（1996）也表明两性物质在脱水过程中从水相进入脂相的行为有利于种子细胞忍耐水分的极度丧失，是种子耐脱水的主要因素之一。Buitink 等（2000 a, b）以吸胀的豌豆和黄瓜种子分别作为淀粉类和油类种子的代表类型，用已经开始萌动的种子作为脱水敏感体系，用 PEG 渗调处理过的种子作为耐脱水体系，研究了脱水敏感性不同的组织中，两性物质在脱水过程中在水相和脂相中的再分配。研究发现，对脱水敏感体系的胚轴细胞在脱水过程中，当含水量刚开始下降时，两性物质就已经开始从水相转入脂相，细胞粘滞度的提高也发生在较高的含水量水平，在脱水过程中细胞粘滞度控制两性物质在两相中的再分配（程红焱等，2004）。据此分析，可以尝试用外源两性物质防护超干处理可能带来的膜系统的损伤，以提高超干贮藏的效果和应用范围。

7 种子超干处理以及超干贮藏效果与玻璃态的关系

生物组织脱水形成玻璃态的现象已被肯定, 玻璃态是一种粘滞的热力学不稳定固态, 低温和低含水量下生物组织容易发生玻璃化 (Buitink 等, 1998)。种子脱水时玻璃态的形成是降低贮藏过程中衰老劣变反应速率的主要因素 (Leopold 等, 1994)。在玻璃态区域, 所有需要物质转化和扩散的化学反应速率被显著降低, 玻璃态的细胞质的高粘滞性阻止了细胞质中溶质分子的扩散, 从而减缓了化学组分和结构上的老化劣变反应 (Sun, 1997), 因而玻璃态可以稳定失水状态下蛋白质等生物大分子 (Sun and Davidson, 1998), 提高种子的耐贮藏性 (Sun, 1997, Buitink 等, 1998)。关于玻璃态与种子超干提高耐藏性的关系, 是值得研究的领域。以下介绍这方面的进展。

在脱水过程中细胞膜片层间的溶液发生玻璃化具有对膜的稳定作用, 作用的大小取决于玻璃态形成的位置。只有当玻璃化发生在双层膜之间或膜与其他亲水的超微结构物质之间时, 才会对膜相变有显著影响。Koster 等 (1994) 发现在脱水过程中, 当磷脂双层结构之间的糖溶液发生玻璃化时, 磷脂的相变温度会改变, 可以避免细胞膜由流动相向凝胶相转变。Zhang 和 Steponkus (1996) 提出, 当膜双层结构之间的溶液发生玻璃化时, 玻璃态的刚性会导致细胞膜很难在面积上延展, 当膜的磷脂层处于凝胶态时, 膜的延展比处于流动态时难。温度的升高有利于膜面积的延展, 这种情况下膜相变需要较高的温度, 更有利于膜保持在凝胶相; 当膜磷脂层处于流动相时, 如果膜片层间溶液发生玻璃化, 膜相变温度降低, 会有利于膜磷脂层维持在流动相 (Wolfe and Bryant, 1999; Koster 等, 2000)。因此, 可以说膜片层间溶液的玻璃化有利于保持膜磷脂层在当时所处的状态。如果溶液的玻璃化发生在原生质的主体溶液 (bulk solution) 里, 即溶液体积的长宽高均大于 1~2 nm (亲水性物质表面之间距离), 则对膜的直接影响很小, 但会减缓某些化学反应的速率 (Karmas 等, 1992; Slade and Levine, 1995)。

在脱水过程中细胞膜片层间的溶液发生玻璃化, 对膜的稳定作用的强弱还取决于溶质分子的大小。溶质为聚合物等大分子时, 脱水导致大分子从膜之间排出 (Rand and Parsegian, 1989), 所以多聚大分子溶液玻璃化不会发生在膜间区域, 而是发生在主体溶液 (bulk solution) 区域, 因而对膜相变的影响很小 (Wolfe and Bryant, 1999; Koster 等,

2000), 在脱水过程中膜相变温度的改变是由于小分子糖类物质的存在造成的。已有许多实验证实, 小分子溶质如葡萄糖、蔗糖、海藻糖和山梨醇糖的存在, 能够减缓因细胞脱水引起的膜相变温度的升高, 阻止膜脂由流动相转变为凝胶相 (Koster 等, 1994, 2000; Zhang and Steponkus, 1995; Crowe 等, 1996)。溶质浓度的增加引起渗透压的增加, 渗透压越高, 水势 () 负值越大, 产生的吸力也越强, 即产生的负压越强, 膜之间水分的丢失也越难。细胞质中小分子溶质对膜相变的影响取决于小分子溶质的溶液是否形成玻璃态。

除了溶质分子的大小以外, 溶质的溶解度也很重要。在脱水过程中, 只有当溶质保持溶解状态时才能形成玻璃态。有些溶质在高浓度下形成结晶, 使得溶液浓度降低, 玻璃态将很难形成, 溶质通过渗透压效应降低脂类物质相变温度的影响也会减小 (Koster 等, 1996)。

[参 考 文 献]

- Apel K, Hirt H, 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction [J]. *Ann Rev Plant Bio*, 55: 373—399
- Buitink J, Claessens MMAE, Hemminga MA, *et al*, 1998. Influence of water content and temperature on molecular mobility and intracellular glasses in seeds and pollens [J]. *Plant Physiol*, 118: 531—541
- Buitink J, Leprince O, Hemminga MA, *et al*, 2000a. Molecular mobility in the cytoplasm: An approach to describe and predict lifespan of dry germplasm [J]. *Plant Physiol*, 97: 2385—2390
- Buitink J, Leprince O, Hoekstra FA, 2000b. Dehydration-Induced redistribution of amphiphilic molecules between cytoplasm and lipids is associated with desiccation tolerance in seeds [J]. *Plant Physiol*, 124: 1413—1426
- Cheng HY (程红焱), Song SQ (宋松泉), 2004. Research perspective in bio-thermodynamics of seed and pollen cell membrane changes induced by desiccation [J]. *J Plant Physiol Mol Biol* (植物生理与分子生物学学报), 30 (2): 127—135
- Cheng HY (程红焱), 1994. Studies on germplasm of seed ultradrying storage [D]. Beijing: Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences.
- Cheng HY (程红焱), 2005a. Research background and progress of seed ultradry storage technology [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), 27 (2): 113—124
- Cheng HY (程红焱), 2005b. Relation between storage stability and molecular mobility in cells of seed and pollen [J]. *J Plant Physiol Mol Biol* (植物生理与分子生物学学报), 31 (3): 221—226
- Cheng HY (程红焱), Zheng GH (郑光华), Qin H (秦红), *et al*, 1996.

- Water thermodynamic analysis on seed desiccation tolerance and its ultradry storage effects [J]. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 29: 65—73
- Cheng HY (程红焱), Zheng GH (郑光华), Tao KL (陶嘉龄), 1991. Physiological, biochemical and ultrastructural studies on ultradried seeds of some *Brassica* species [J]. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 17: 273—284
- Crowe JH, Hoekstra FA, Crowe LM, 1992. Anhydrobiosis [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 54: 570—599
- Crowe LM, Reid DS, Crowe JH, 1996. Is trehalose special for preserving dry biomaterials [J]? *Biophys J*, 71: 2087—2093
- Crowe LM, Reid DS, Crowe JH, 1996. Is trehalose special for preserving dry biomaterials [J]? *Biophys J*, 71: 2087—2093
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, 1989. A comparison of the low-moisture-content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species [J]. *Ann Bot*, 63: 601—611
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, 1992. The low-moisture-content limit to the negative logarithmic relation between seed longevity and moisture content in three subspecies of rice [J]. *Ann Bot*, 69: 53—58
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, *et al*, 1990. Low moisture content limits to relations between seed longevity and moisture [J]. *Ann Bot*, 65: 493—504
- Florent JB (弗洛朗), Yan QC (颜启传), 2001. Differences in ultradry seed storage potential of sesame accessions [J]. *Chin J Oil Crop Sci* (中国油料作物学报), 23 (2): 76—78
- Hoekstra FA, Wolkers WF, Buitink J, *et al*, 1997. Membrane stabilization in the dried state [J]. *Comp Biochem Physiol*, 117A: 335—341
- Hu JS (胡家恕), Zeng GW (曾广文), 2000. Storage tolerance and aging-resistance of ultradried safflower seeds [J]. *J Zhejiang Agric Univ* (Agric. & Life Sci) (浙江农业大学学报·农业与生命科学版), 26 (6): 653—656
- Hu JS (胡家恕), Zhu C (朱诚), 1999. Effect of aging-resistance of ultradried safflower seeds and its mechanism [J]. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 25: 171—177
- Hu XR (胡小荣), Hu CL (胡承莲), Zhang YL (张云兰), *et al*, 1999. Study on the method of prehumidification of ultradry seeds of kenaf [J]. *Seed* (种子), (3): 23—24
- Jiang XC (姜孝成), Yang XQ (杨晓泉), Fu JR (傅家瑞), 1996. Relationship between the water status changes of Shan-You 63 seeds and seed viability [J]. *Hybrid Rice* (杂交水稻), (3): 29—31
- Jing XM (景新明), Zheng GH (郑光华), 1994. The differences in the seed sensitivity to ultradry between two soybean cultivars Heihe V and Fiskeby V [J]. *Seed* (种子), (3): 9—12
- Karmas R, Buera MP, Karel M, 1992. Effect of glass transition on rates of nonenzymatic browning in food systems [J]. *J Agric Food Chem*, 40: 873—879
- Koster KL, Lei YP, Anderson M, *et al*, 2000. Effects of vitrified and non-vitrified sugar on phosphatidylcholine fluid-to-gel phase transition [J]. *Biophys J*, 78: 1932—1946
- Koster KL, Sommervold CL, Lei YP, 1996. The effect of storage temperature on the interactions between dehydrated sugars and phosphatidylcholine [J]. *J Thermal Anal*, 47: 1581—1596
- Koster KL, Webb MS, Bryant G, *et al*, 1994. Interactions between soluble sugars and POPC (1-palmitoyl-2-oleoylphosphatidylcholine) during dehydration: vitrification of sugars alters the phase behaviour of the phospholipid [J]. *Biochim Biophys Acta*, 1193: 143—150
- Leopold AC, Sun WQ, Bernal-Lugo I, 1994. The glassy state in seeds: analysis and function [J]. *Seed Sci Res*, 4: 267—274
- McDonald MB, 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment [J]. *Seed Sci Tech*, 27: 177—237
- Mller IM, 2001. Plant mitochondria and oxidative stress: Electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species [J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Bio*, 52: 561—591
- Oliver AE, Hinch DK, Crowe LM, *et al*, 1998. Interactions of arbutin with dry and hydrated bilayers [J]. *Biochim Biophys Acta*, 1370: 87—97
- Priestley DA, Wetner BG, Leopold AC, 1985. Organic free radical levels in seeds and pollen: The effects of hydration and aging [J]. *Plant Physiol*, 64: 88—94
- Rand RP, Parsegian VA, 1989. Hydration forces between phospholipid bilayers [J]. *Biochim Biophys Acta*, 988: 351—376
- Ren XM (任晓米), Zhu C (朱诚), Zeng GW (曾广文), *et al*, 2001. Some physiological and biochemical characteristics of ultra-dry seeds [J]. *Plant Physiol Comm* (植物生理学通讯), 37 (3): 265—268
- Roberts EH, Ellis RH, 1989. Water and seed survival [J]. *Ann Bot*, 63: 39—52
- Shirley BW, 1998. Flavonoids in seeds and grains: physiological function, agronomic importance and the genetics of biosynthesis [J]. *Seed Sci Res*, 8: 415—422
- Slade L, Levine H, 1995. Glass transition and water-food structure interactions [J]. *Adv Food Nutr Res*, 38: 103—269
- Sun WQ, 1997. Glassy state and seed storage stability: the WLF kinetics of seed viability loss at T-Tg and the plasticization effect of water on storage stability [J]. *Ann Bot*, 79: 291—297
- Vertucci CW, Leopold AC, 1984. Bound water in soybean seed and its relation to respiration and imbibitional damage [J]. *Plant Physiol*, 75: 114—117
- Vertucci CW, Leopold AC, 1987. Relationship between water binding and desiccation tolerance in tissues [J]. *Plant Physiol*, 85: 232—238
- Vertucci CW, Roos EE, 1990. Theoretical basis of protocols for seed storage [J]. *Plant Physiol*, 94: 1019—1023
- Vertucci CW, Roos EE, 1993a. Theoretical basis of protocols for seed storage II: the influence of temperature on optimal moisture levels [J]. *Seed Sci Res*, 3: 201—213
- Vertucci CW, Roos EE, 1993b. Seed storage, temperature and relative humidity: response (correspondence) [J]. *Seed Sci Res*, 3: 215—216
- Vertucci CW, Roos EE, Crane J, 1994. Theoretic basis of protocols for seed storage. III. Optimum moisture contents for pea seeds stored at different temperatures [J]. *Ann Bot*, 74: 531—540
- Walters C, Hill LM, 1998. Water sorption isotherms of seeds from ultradry experiments [J]. *Seed Sci Res*, 8 (Supplement): 1—74
- Wang XF (汪晓峰), Jing XM (景新明), Lin J (林坚), *et al*,

- 2003 . Studies on membrane function and sugar components of ultradried seeds [J] . *Acta Bot Sin* (植物学报), 45: 23—31
- Wang XF (汪晓峰), Zheng GH (郑光华), 1999 . Plasma membrane mobility of ultradry storage seeds [J] . *Chin Sci Bull* (科学通报), 44: 733—739
- Wolfe J, Bryant G, 1999 . Freezing, drying and or vitrification of membrane-solute-water systems [J] . *Cryobiology*, 39: 103—129
- Wu JX (伍贤进), Lu JH (吕金海), Fu JR (傅家瑞), 2001 . Effect of ultradry on seed vigor and seed water thermodynamic characters [J] . *Acta Biophys Sin* (生物物理学报), 17 (3): 579—586
- Zeng GW (曾广文), Zhu C (朱诚), Hu JS (胡家恕), *et al*, 1998 . Study on the status of free radical and water during ultradrying in safflower seed [J] . *J Zhejiang Agric Univ (Agric . & Life Sci)* (浙江农业大学学报·农业与生命科学版), 24 (2): 111—115
- Zeng XY (曾祥跃), Chen RZ (陈润政), Fu JR (傅家瑞), 1998 . The effects of water content during storage on physiological activity of cucumber seeds [J] . *Seed Sci Res*, 8: 65—68
- Zhang J, Steponkus PL, 1995 . Effects of sugar on the dehydration-induced increase in the T_m of DPPPC dehydrated over a continuum of osmotic pressures [J] . *Cryobiology*, 32: 60A
- Zhang J, Steponkus PL, 1996 . Proposed mechanism for depression of the liquid-crystalline-to-gel phase transition temperature of phospholipids in dehydrated sugar-phospholipid mixtures [J] . *Cytobiology*, 33: 21A
- Zhang MF (张明方), Zhu C (朱诚), Hu JS (胡家恕), *et al*, 1999 . Effects of ultradry on seed germplasm preservation and biomembrane system in onion [J] . *J Zhejiang Agric Univ* (浙江农业大学学报), 25: 255—259
- Zhang SJ (张施君), Chen RZ (陈润政), 2003 . The effect of ultradry storage on seed viability and vigor of cabbage mustard [J] . *Plant Physiol Comm* (植物生理学通讯), 39 (2): 101—104
- Zhang TL (张云兰), Tao M (陶梅), Guo XR (郭新荣), *et al*, 1994 . A study on ultradried seeds of millet (*Setaria*) and mung bean (*Phaseolus aureus*) [J] . *Seed* (种子), 72 (4): 29—31
- Zhao P (赵鹏), Zhu C (朱诚), 2000 . Effect of ultradry seed preservation and biomembrane system in cucumber [J] . *J Zhejiang Agric Univ (Agric . & Life Sci)* (浙江农业大学学报·农业与生命科学版), 12 (3): 161—164
- Zheng YS (郑郁善), Wang SF (王舒凤), Chen LG (陈礼光), *et al*, 2002 . Effect of PEG pretreatment on ultradry seed vigor of forest trees [J] . *J Fujian Coll Forest* (福建林学院学报), 22 (2): 97—100
- Zhi JZ (支巨振), Bi XH (毕辛华), 1991 . The influence of ultra-low moisture content on stored rice seed's viability and physiological characteristics [J] . *Seed* (种子), (4): 19—23
- Zhu C (朱诚), Zeng GW (曾广文), Jing XM (景新明), *et al*, 2001 . The effect of moisture content and storage temperature on onion seed longevity [J] . *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 27: 261—266

* * * * *

《云南植物研究》编辑部启事

为了提高编辑部工作效率, 更好的为广大作者和读者服务, 并加强与读、作者的交流。编辑部于2006年2月开通《云南植物研究》网站 (<http://journal.kib.ac.cn>), 并使用在线投、审稿系统。读者可通过会员注册的方式进入网站, 浏览和下载本刊的过期期刊资料, 可在网站发表建议与意见。作者可通过在线投稿链接, 进入作者注册投稿页面, 进行稿件的网上传递。审稿专家可通过编辑部发送的户名和密码进入在线专家审稿链接进行审稿, 并将意见进行网上传送, 这将极大的方便专家和作者的工作。但由于网站刚刚开通, 在许多方面还存在着问题和不足, 衷心希望审稿专家和作者对我们的工作提出宝贵意见, 有问题及时与我们联系。我们相信在广大专家、作者及读者的大力支持配合下, 我们的工作将会做得越来越好, 刊物也会得到较大发展。

《云南植物研究》编辑部