

我国作物种质资源保存与研究进展

卢新雄, 陈晓玲

(中国农业科学院作物品种资源研究所/农业部作物种质资源与生物技术重点开放实验室, 北京 100081)

摘要:近 20 多年来,我国作物种质资源保存取得了令人瞩目的成就。至 2002 年底,国家已初步建立起作物种质资源保存体系,包括国家长期库和国家复份库各 1 座,中期库 8 座。长期库贮存种质已达 33.4 万余份,隶属 35 科 192 属 712 种,贮存数量居世界第一位。国家种质圃 30 个,共保存无性繁殖作物及多年生种质 4.3 万余份,隶属 900 多个物种。试管苗种质库 2 个,保存种质 2 300 份。此外还建立了 2 个野生稻和 1 个野生大豆原生境保护区。笔者在文中介绍了我国在库存种质持久安全保存技术、超干燥贮存技术和离体保存技术等方面的研究进展,并就当前种质保存研究的几个热点问题予以评述。

关键词:作物;种质资源;种子保存;超干贮存;离体保存;保存技术

Progress of Conservation and Research of Crop Germplasm Resources in China

LU Xin-xiong, CHEN Xiao-ling

(Key Laboratory for Crop Germplasm and Biotechnology of Agricultural Ministry / Institute of Crop Germplasm Resources, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: In the last 20 years, China has made considerable achievements in the conservation of crop germplasm resources. A network for crop germplasm conservation has been established by the end of 2002, which includes a national long-term seed genebank and its duplication genebank, 8 national medium-term seed genebanks, 30 national field genebanks, 2 national *in vitro* genebanks, and 3 *in situ* conservation sites including 1 for wild soybean and 2 for wild rice. More than 334 000 crop accessions were stored in the national long-term genebank, covering 35 families, 192 genera and 712 species, which rank in the first place in the world. More than 43 000 accessions of vegetative crops and perennial crops covering more than 900 species were conserved in the national field genebanks. In addition, 2 300 accessions were stored in the national *in vitro* genebanks. This paper has reviewed the latest advances of techniques for safe preservation of stored germplasm in seed genebank, ultra-dry seed storage and *in vitro* preservation in China and discussed current highlights in germplasm conservation.

Key words: Crop; Germplasm resources; Seed preservation; Ultra-dry storage; *In vitro* preservation; Preservation technique

我国是世界上最古老的农业国之一,有丰富的栽培和野生植物资源,被认为是栽培植物遗传多样性中心之一。据初步统计,我国重要栽培作物有 600 多种,其中粮食作物 30 多种,经济作物约 90 种,蔬菜 120 余种,花卉 140 余种,果树约 150 种,牧草约 50 种,绿肥约 20 种^[1]。在现有作物中起源于我国

或在史前已栽培的有 237 种^[2]。但由于人口迅速增长等原因,我国农业植物资源遭到严重的人为破坏和侵蚀,如野生稻、野生大豆及小麦近缘野生植物在原生长地已很难找到;外来种侵袭使土生土长的植物物种数减少,加上大量病虫天敌的减少,使作物病虫害加重;农业机械化和良种的大面积推广种植导

致了大量地方品种被淘汰。在生产上种植的许多作物的骨干品种种质基础日趋狭窄,存在遗传脆弱性和突发毁灭性病害的隐患^[3~5]。为此,近 20 年来,作为拓宽育种遗传基础的源头,种质资源的收集、保存及研究一直受到有关部门的高度重视,并取得令人瞩目的成就。

1 种质保存体系

在国家有关部门领导和经费支持下,我国已初步建立起作物种质资源保存利用体系。该体系特点是:依据作物繁殖方式等生物学特性,实行种质资源原生境保存(*in situ* conservation)与非原生境保存(*ex situ* conservation)相结合加相互补充的立体保存策略。原生境保存是指在植物原来的生态环境中建立保护区或保护地,使重要作物野生种及野生近缘植物就地自我繁殖以保存种质。首批 3 个国家级作物野生种保护区已建立,即在江西东乡和广东高州建立野生稻保护区,在山东垦利建立野生大豆保护区。非原生境保存,即将种质保存于该植物原产地以外的地方,包括在低温种质库中进行的种子体保存、在种质圃中的植株保存、在试管苗种质库中的组织培养物保存等。我国保存种子的低温种质库,包括国家长期种质库和国家复份库各 1 座,分别位于北京市中国农业科学院品种资源研究所和西宁市

青海省农业科学院,国家作物中期库 8 座。除粮食作物中期库位于中国农业科学院品种资源研究所外,其它各作物专业中期库分别位于中国农业科学院所属的各专业研究所。至 2002 年底,国家长期库保存的种质份数达 33.4 万余份,隶属 35 科 192 属 712 个物种(表 1),其贮存数量居世界第一位。此外,在全国各地还建有 16 座地方中期库,保存种质份数约 50 余万份。国家种质圃共 30 个,试管苗种质库 2 个,保存种质达 45 338 份。在该保存体系中,国家长期库负责全国作物种质资源的长期保存,贮存的资源作为国家战略资源,一般不对外供种,只有当种质材料在中期库或供种单位无法找到时,才可动用长期库保存的种质。国家复份库负责国家长期种质库贮存种质的备份安全保存。各作物的国家中期库负责该作物种质的中期保存、特性鉴定、繁殖和分发。种质圃及试管苗库负责无性繁殖作物及多年生作物种质的保存、特性鉴定、繁殖和分发。此外,由种质信息中心负责贮存种质的信息收集与管理。为此,如想在我国获得种质材料,可通过种质信息中心查询,或直接向有该作物的国家中期库索取。种质保存体系的建成及几十万份资源的入库(圃)保存,为我国作物育种和生产提供了雄厚的物质基础,也将为我国农业可持续发展发挥重要作用。

表 1 国家种质库贮存的作物种质资源

Table 1 The crop germplasm resources stored in the National Genebank of China

作物 Crop	份数 Number of accessions	物种数 Number of species	作物 Crop	份数 Number of accessions	物种数 Number of species
水稻 Rice	67 831	20	蔬菜 Vegetable	29 186	132
小麦及小麦近缘植物 Wheat and relative plants of wheat	40 973	134	油菜 Rape	5 996	13
大麦 Barley	18 132	1	芝麻 Sesame	4463	1
花生 Peanut	6 078	16	蓖麻 Castor-oil plant	1 887	1
燕麦 Oat	3 205	3	红花 Safflower	2 378	2
荞麦 Buck wheat	2 582	3	苏子 Perillaseed	471	1
玉米 Maize	16 939	1	向日葵 Sunflower	2 597	2
高粱 Sorghum	17 053	1	烟草 Tobacco	3 208	22
粟类 Millet	27 127	8	棉花 Cotton	6 768	19
黍稷 Proso millet	7 965	1	西瓜 Watermelon	992	1
大豆 Soybean	30 729	4	甜瓜 Muskmelon	962	1
食用豆 Food legume	25 898	16	绿肥 Green manure	663	71
麻类 Fibre crop	4 473	7	甜菜 Beet	1 243	1
牧草 Herbage	3 512	387	其它 Others	1 459	8
			合计 Total	334 770	712 ¹⁾

¹⁾ 去除重复 The total number of species excludes the repeated number of different crops

2 保存技术研究

目前,国内主要围绕种子保存技术和离体保存技术这两种非原生境保存技术来开展研究。非原生境保存即是利用人工创造的适宜环境使种质较长时间保存其遗传完整性(genetic integrity),从而为当今和将来的使用者提供有价值的种质材料。

2.1 种子保存技术

利用低温种质库保存种子,除贮藏温度较低外,作为种质保存的种子,还须经过生活力检测、干燥脱水、密封包装等一系列入库保存前处理。目前国家种质库已建立起一套科学的种子入库保存前处理技术和种子入库贮存管理标准。依据不同种子耐干燥特性,系统地研究出各种作物最佳的干燥条件和方法,还研究出 65 种难发芽作物种子的生活力检测方法,从而为其种子的顺利入库及其安全监测提供了有效的技术保证。

随着种子入库贮存种类和数量增多,尤其是随着贮存时间的延长,确保贮存种子的持久安全保存已成为基因库管理者的首要课题。通过对 23 种作物 1.8 万多份在国家库贮存 12 年的种子生活力监测研究,初步探明了库存种子的生活力变化情况,少量(约 1.1%)种子发芽率出现了明显的下降(降至 70% 以下)。其主要原因是物种(或品种)耐贮藏性存在差异和贮藏前生活环境条件不同。短寿命种子在低温下仍表现耐贮性较差,如胡萝卜、莴苣等,起始活力水平的高低对贮存种子生活力下降有影响^[6]。要重视库存种质持久安全保存研究。

笔者通过对水稻种子在 45℃ 老化条件下生活力丧失特性的研究,获得了生活力丧失存在骤降阶段和“拐点”水平以及生活力快速下降的预警指标^[7]。在自然条件下贮藏 1~17 年的油菜种子的生活力监测结果表明,在该条件下油菜种子生活力丧失同样存在骤降阶段^[8]。对青海自然库贮存 8~28 年的燕麦种子和贮存 1~23 年的大麦种子进行根尖染色体观测,发现染色体畸变与种子发芽率之间呈极显著负相关,但经种植后其子代根尖染色体又恢复正常^[9,10]。一些学者也对玉米、大豆贮存种质更新适宜繁殖群体量^[11,12]和大白菜、荞麦、多花菜豆、薏苡和芝麻等 5 种作物种质最佳繁殖技术^[13]进行了研究。这些研究结果对于种质库种质安全监测和更新技术方案的制定,以及提高种质衰老预警能力都具有非常重要的指导意义。

虽然低温库是作物种质资源保存最佳途径,但

其建设投资大、技术要求高,运转费用较昂贵,对于欠发达地区和一般种质资源保存,还需要在常温条件下也能达到中长期保存目的的新技术。1980 年由英国学者 Ellis 提出的超干燥贮存概念有这种潜在的功能。该理论认为种子含水量与贮藏温度对种子寿命的影响是彼此独立的,即将种子含水量在低温种质库贮存下限(5%)的基础上进一步降低,将使种子的贮藏寿命成倍延长。换句话说,可相应提高贮藏温度,在常温下达到中期(10 年左右)贮存的效果。国内许多学者在这方面进行了探讨,认为经超干燥处理的油脂类种子的脱氢酶、超氧歧化酶、过氧化物酶等酶系统、细胞膜系统保持完好,细胞超微结构及功能也保持良好,能保证质膜的生理功能,该项处理提高了种子的耐贮藏能力^[14]。超干燥红花、花生种子内部清除活性氧的酶系统(SOD、POD、CAT)仍保持较高活性,丙二醛和挥发性醛产生量较低,对脂质过氧化的抑制作用被认为是超干燥种子耐贮藏的生理原因之一^[15,16]。在探讨耐干性机理方面,有研究认为水稻种子耐干性差异与热稳定蛋白有关^[17]。对超干处理较敏感的大豆、豇豆种子的热力学参数 K 与 K' 比油菜、芝麻和花生等耐干种子的值小,即在低的相对湿度环境中超干处理较敏感的种子对水分的吸附力量和吸附位点数目比耐干种子的^[18]。玉米的不耐干性与玉米不含水苏糖有关^[19]。超干燥贮存技术能否应用于作物种质资源保存,关键在于长时间的贮藏效果。研究表明,白菜、韭菜、萝卜、番茄、茄子、黄瓜、大葱、芝麻等作物种子在常温条件下贮藏 10 年后,其超干种子仍保持较高的生活力,而对照已基本死亡^[20,21],表明超干处理能使种子的贮藏寿命延长。此外,已知有一些经长时间贮藏的超干种子,如贮藏了 17 年的芝麻、贮藏了 8~12 年的花生、贮藏了 18 年的油菜,其田间出苗率仍在 50% 以上,且无形态变异^[21~23]。超干贮藏在植物种质保存方面有很好的应用前景^[24]。

但许多研究报道指出,某些蛋白质类作物种子并不适合超干贮存,贮藏种子的最佳含水量并非与贮藏温度无关,而是随贮藏温度的下降而上升。为此,Vertucci 建议将种子超干研究改为种子最佳含水量研究,只有当种子含水量最佳时,其寿命才能被最大程度地延长^[25]。国内一些学者的研究结果也验证了该观点的正确性(表 2)。该观点的理论基础是物理化学的基本原理,任何化学反应都需要自由能,水的化学势能是自由能的组成部分,由于水的化学势能和相态是随温度变化的,有水参加的生化反应

必然也随温度变化而发生相应的改变。在高温条件下种子含水量高有利于水解酶的活化,促进生化反应、加速种子老化。在低温条件下种子的酶活性受到抑制,降低含水量抑制种子酶促反应的作用不像在高温下那么明显。而水分过低,会破坏种子内水

膜的完整性,使生物膜上的脂类分子易受 O_2^- 、 OH^- 、 H_2O_2 和 $ROOH$ 等自由基攻击,诱发脂质氧化反应,导致丙二醛等有毒物质的累积,加速种子老化。

表 2 一些种子的最佳贮藏含水量

Table 2 Optimal moisture contents of seeds for storage

作物 Crops	类型 Seed type	贮存条件 Storage condition ($^{\circ}C$)	贮存年限 Storage duration (year)	最佳含水量 Optimal moisture contents (%)	文献来源 Reference
大白菜 Chinese cabbage	油质类 Oil seed	$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	2.5~4.2	[26]
谷子 Millet	淀粉质类 Starchy seed	$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	5.0~5.8	[27]
玉米 Maize		室温 Room temp.	7	4.05	[28]
燕麦 Oats		$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	6.0	[26]
小麦 Wheat		$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	6.0~6.9	[26]
大豆 Soybean	蛋白质类 Protein seed	$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	4.1~5.1	[26]
豌豆 Pea		$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	8.0~10.0	[27]
红小豆 Adzuki bean		$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	9.0~9.7	[27]
绿豆 Mung bean		$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	9.0~9.7	[27]
荞麦 Buck wheat	-	$22.5 \pm 7.5^{\circ}C$	6	5.9~6.8	[27]
西瓜 Watermelon	-	室温 Room temp.	7	3.73	[28]
大葱 Onion	-	$20^{\circ}C$	11	2.8~5.3	[29]

此外,还有一些超低温液氮($-196^{\circ}C$)保存植物种子的研究,大多是从适宜的含水量、包装材料、种子类型及解冻、化冻方法等方面研究贮藏效果,试验时间从十几分钟至几天,最长的仅 42 个月^[30,31]。由于缺乏稳定的液氮源,且在实际应用中需频繁补充液氮,用该法保存种子不如低温库方便,因此,在我国还没有用超低温技术保存作物种子资源的报道。

2.2 离体种质保存技术

许多植物种质资源无法通过种子贮藏达到资源保存的目的,如芒果、椰子、油棕、咖啡等作物产生的是顽拗型种子,不耐干燥脱水和低温贮藏。脐橙、香蕉等作物不产生种子。苹果、柑橘、甘薯、马铃薯等是无性繁殖的物种。这类作物的种质资源不能采用低温库种子贮藏的方式,只能通过种质圃,以植株或块根、块茎等活体方式在田间保存。该保存方式易受病虫害、火灾、洪水等自然灾害威胁,从安全保存原则出发,需通过建立离体种质库实现对重要种质资源的备份保存。种质离体保存技术研究(包括组织培养技术和超低温保存技术)在我国也取得了重要的进展。

2.2.1 试管苗组织培养技术 在马铃薯和甘薯这两种作物上,我国已成功应用组织培养技术建立起试管苗种质库,分别有 900 份和 1 400 份种质入库保

存。研究表明,甘薯种质离体保存 10 年后,少数品种在酯酶或 α -淀粉酶酶谱出现差异,这意味着离体保存对甘薯种质的遗传稳定性产生影响^[32]。另外还利用组织培养技术制造人工种子来保存甘薯种质。人工种子保存比试管苗保存优点更多,即每份保存数量可加大,所占空间大大减少,保存时间延长,再生能力强等优点,目前已应用于种质资源保存。此外,24 份柑橘胚性愈伤组织保存 13 年后,细胞染色体数没有变异,保持较强的再生能力,再生植株形态和倍性也没有变异^[33]。保存 25 个月的大蒜种质资源试管苗、保存 20 个月的微型鳞茎,其成活率分别为 100% 和 89.1%^[34]。

2.2.2 超低温保存技术 超低温通常指低于 $-80^{\circ}C$ 的低温,主要是液氮($-196^{\circ}C$)及液氮蒸汽。从理论上讲,在如此低的温度下保存生物材料,生理代谢活动几乎处于停止状态,可以降低甚至抑制其基因变异的可能性,因此能够保持生物材料的遗传稳定性。这在解决组织细胞继代培养和自然界积累性的突变等变异,保存和抢救物种等方面有极其重要的作用,被公认为无性繁殖作物种质资源长期保存的理想途径。近 10 年来,对超低温保存植物种质的技术,包括材料选择及预处理、冰冻操作、冰冻贮存、化冻操作、超低温冰冻材料的重新培养及生活力和存活率的测定等方面进行了广泛研究。在超低温

保存技术中最为关键的是如何防止材料在放入 -196°C 过程中不受冻伤及化冻过程中能存活再生。与国外发展相似,我国早期也是采用程控降温仪的逐步降温法,因程控降温仪设备较为昂贵,且操作不易掌握。随后又发展了预培养法、脱水干燥法、包埋干燥法和玻璃化法等。玻璃化法的优点是保存材料经冰冻保护剂处理后可直接投入液氮中保存。因它的冷冻速率可达 $1800^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 而避免细胞内结冰,免除了降温法所需要的高性能程序降温设备和复杂的冰冻程序。应用玻璃化法的最大难题是玻璃化冰冻保护剂的组成及浓度因不同植物而异。我国在苹果、樱桃、柑橘等作物上,已成功地应用玻璃化法进行超低温保存,其中选择茎、芽尖分生组织作为材料较为普遍,如苹果茎尖^[35]、柑橘茎尖^[36]、葡萄茎尖^[37]、樱桃茎尖^[38]、杏休眠芽^[39]。愈伤组织、原生质体、休眠枝条也较为常用,如猕猴桃愈伤组织^[40]、杏原生质体和愈伤组织^[41,42]等研究获得成功。未成熟的胚和体细胞胚主要应用于芒果、荔枝和龙眼等果树胚轴超低温保存试验。因花粉缺乏细胞质基因,不能保持整体遗传性,也容易传播病毒,保存中只能起补充作用。但在育种上可用来解决不同作物品种花期不遇和异地杂交困难问题。对花粉适度干燥后,已成功利用超低温保存技术来保存玉米、黑麦、梨、苹果、杏等作物的花粉。

3 存在问题与评述

近20年来,无论在种质资源收集保存还是在保存技术研究上,我国都取得举世公认的成就。但我国种质资源保存起步较晚,基础研究很薄弱,与中国作为资源大国的地位很不相称。针对目前存在问题及发展趋势,笔者就当前种质保存的几个研究热点予以评述。

3.1 植物种质资源保存的策略

国家应实行立体保存策略,即以低温种质库保存种子体种质,种质圃保存多年生和无性繁殖作物种质,原位保护区保护野生种和近缘野生植物。尽管种质圃和原位保护区这一方法较传统,需花费大量人力、物力和财力,且易受自然灾害的威胁,但它确是维持植物遗传进化及保存物种遗传特性的最可靠、最安全的方法。离体保存库或超低温库仅是一种备份的保存途径,无法替代田间的活体保存。因此,国家还应加强种质圃和野生近缘植物保护区的建设,重点放在已建保存设施的维护管理和资源补充征集上。

3.2 低温库种质安全保存技术

将种质贮存于现代化的低温库中,理论上应能大大延长其贮藏寿命。但生活力监测结果表明,少量种质贮藏不到20年就出现生活力下降^[6,43]。更有报道称,多达50%的原种质库贮存样品在此期间丧失生活力或在更新后发生了遗传漂变^[44]。由于种子老化和遗传变化的发生机制不清楚、物种及品种间存在的寿命差异及贮藏前所受到伤害的不可知性等因素,难以控制和预测种质库中贮存的几十万份种质的活力和遗传完整性,再加上繁殖过程中的遗传漂移等问题,因此随着贮存时间延长和贮存数量的剧增,库存种质安全保存问题将更加突出。因此,开展并加强低温库贮存种质安全保存的理论与技术研究尤为迫切,其内容包括生活力监测技术、遗传完整性测定技术、离亡种质拯救技术、种质更新的发芽率标准及最佳繁殖技术等。

3.3 超干贮存技术

研究表明,不同作物种子在常温下,有一最佳含水量临界值范围,高于或低于该临界值范围会缩短贮藏寿命。因此,超干贮存(含水量 $<5\%$)的提法不科学。从实际应用角度出发,今后除继续研究各种作物种子在常温下的最佳含水量及其贮藏寿命外,还应重点研究种子在最佳含水量条件下,种子贮藏寿命延长的机理及种子的热力学特性,这对该技术在种质保存上的应用具有非常重要的指导意义。

3.4 种质离体保存与DNA保存

组织培养技术与超低温冰冻技术相结合将为无法通过低温库保存的植物种质提供长期有效的保存途径。目前,国内外对该技术的研究大多停留在方法上,供试种质材料保存的时间短,少有长期保存再生情况的报道,几乎没有对离体种质保存过程中遗传稳定性的研究。此外,研究对象范围较窄,而且有时对同一物种不同品种的研究结果不一致。今后的研究方向一是重点选择几种需优先保护的物种,用已成熟的技术进行较大规模的中长期种质保存及遗传稳定性试验,探讨超低温保存的可行性;二是继续进行各物种的超低温保存方法研究,探索安全、简便、实用、长期稳定的离体保存技术。

随着生物工程技术迅速发展,建立DNA库可为生物工程技术育种提供物质基础,为生物工程产品和中间材料的安全提供保障,也可作为生物多样性保护和种质交换的一种重要补充手段。因为种质实物,例如用种子材料与外国进行种质交换,有可能被他人利用,筛选出优异基因并申请专利。若提供种

质材料的 DNA 拷贝 则在他人筛选出优异基因时需向提供者索取种子实物进行对比鉴定 此时提供者可提出种质共享利用的要求 否则可不提供种子实物。因此 尽快建设国家级的种质离体保存与 DNA 保存中心 对加强我国无性繁殖作物种质资源的中、长期备份保存和利用 以及防止宝贵资源的流失都具有非常重要的意义。

3.5 野生种和野生近缘种的保护

我国作物野生资源的收集与保护活动越来越频繁。为此 应加强保护野生物种的生物学 尤其是群体遗传学信息研究。如在确定某一保护单元时 首先应查明该物种遗传学状况 如遗传多样性水平、居群的分化程度等。因为植物群体的遗传变异水平和群体遗传结构是其进化历史、分布范围、生活型、繁殖方式、种子散布机制等各种不同因素综合作用的结果 与其适应性和进化潜力密切相关。一个群体中遗传多样性的下降意味着其适应环境变化的能力下降 群体中的杂和性 即居群内遗传变异的水平 与适合度成正相关。对于一个遗传变异主要存在于居群内的物种(如大多数风媒异花授粉的植物)和一个遗传变异主要分布于居群间的物种(如许多自花授粉的一年生草本植物)应制定不同的取样和保护方针^[45]。因此 无论是野生种原位保存、野生材料异地保存 还是种质库中的野生材料和异花授粉作物种质的繁殖更新 都应运用保存遗传学的原理和研究手段来加以研究 只有在掌握最基本的遗传学信息的情况下 才能制定出科学合理的保护策略和更新复壮措施。

References

- [1] 董玉琛,章一华,娄希祉.生物多样性和我国作物遗传资源多样性.中国农业科学,1993,26(4):1-7.
Dong Y C, Zhang Y H, Lou X Z. Biological diversity and diversity of crop germplasm resources in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1993, 26(4):1-7. (in Chinese)
- [2] 卜慕华.我国栽培作物来源的探讨.中国农业科学,1981,4:86-95.
Pu M H. A brief review of the plant in China origin of cultivated. *Scientia Agricultura Sinica*, 1981(4):86-95. (in Chinese)
- [3] 曾三省.中国玉米杂交种的种质基础.中国农业科学,1990,23(4):1-9.
Zeng S X. The maize germplasm base of hybrids in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1990, 23(4):1-9. (in Chinese)
- [4] 张春来.我国甜菜杂交种的遗传基础.中国农业科学,1995,28(增刊):81-89.
Zhang C L. The genetic base of sugarbeet hybrids in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 1995, 28(Suppl.):81-89. (in Chinese)
- [5] 盖钧镒,赵团结,崔章林,邱家驹.中国1923-1995年育成的651个大豆品种的遗传基础.中国油料作物学报,1998,20(1):17-23.
Gai J Y, Zhao T J, Cui Z L, Qiu J X. The genetic base for 651 soybean cultivars released during 1923-1995 in China. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1998, 20(1):17-23. (in Chinese)
- [6] 卢新雄,崔聪淑,陈晓玲,陈贞,陈叔平.国家种质库部分作物种子生活力监测结果与分析.植物遗传资源学报,2001,2(2):1-5.
Lu X X, Cui C S, Chen X L, Chen Z, Chen S P. Survey of seed germinability after 10-12 years storage in the National Genebank of China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2001, 2(2):1-5. (in Chinese)
- [7] 卢新雄,陈晓玲.水稻种子贮藏过程中生活力丧失特性及预警指标的研究.中国农业科学,2002,35(8):975-979.
Lu X X, Chen X L. Characteristics and warning indices of rice seeds viability loss during storage at 45°C constant temperature. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(8):975-979. (in Chinese)
- [8] 蒋海玉,杜燕,刘其宁.贮藏年限对油菜种子发芽特性的研究.种子,2001(3):13-15.
Jiang H Y, Du Y, Liu Q N. Effects of storage period on seed germinating characteristics of rape (*Brassica napus*). *Seed*, 2001(3):13-15. (in Chinese)
- [9] 袁甲正.低温贮藏对栽培大麦染色体的影响.青海师范大学学报(自然科学版),1996(1):50-51.
Yuan J Z. Effects of low temperature storage on barley (*Hordeum vulgare* L.) chromosome. *Journal of Qinghai Normal University (Natural science)*, 1996(1):50-51. (in Chinese)
- [10] 谭富娟,范传珠,马缘生,周红立,周涛,张子良.燕麦种子贮存后遗传完整性的研究.种子,1997(5):9-12.
Tan F J, Fan C Z, Ma Y S, Zhou H L, Zhou T, Zhang Z L. Studies on genetic integrity of genus oat (*Avena sativa* L.) seed under natural storage condition. *Seed*, 1997(5):9-12. (in Chinese)
- [11] 高楷,冯洪昌,刘爱群.玉米品种种子更新授粉群体量的研究.作物学报,1991,17(4):314-319.
Gao K, Ma H C, Liu A Q. Study on population size of hand-pollinated plants in seed renewal of maize cultivars. *Acta Agronomica Sinica*, 1991, 17(4):314-319. (in Chinese)
- [12] 章元明,盖钧镒.大豆地方品种种质保持中适宜样本容量的研究.中国农业科学,1995,28(增刊):70-75.
Zhang Y M, Gai J Y. A study on suitable sample size in the conservation of landrace of soybeans. *Scientia Agricultura Sinica*, 1995, 28(Suppl.):70-75. (in Chinese)
- [13] 马缘生,范传珠,王述民,谭富娟,周红立,周涛.五种作物基因库种子繁殖更新技术研究.植物遗传资源学报,2002,3(2):1-7.
Ma Y S, Fan C Z, Wang S M, Tan F J, Zhou H L, Zhou T. Study on regeneration of the seeds of five crops stored in genebank. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2002, 3(2):1-7. (in Chinese)
- [14] 程红焱,郑光华.超干处理对几种芸薹属植物种子生理生化和细胞超微结构的效应.植物生理学报,1991,17(3):273-284.

- Cheng H Y, Zheng G H. Physiological, biochemical and ultrastructural studies on ultradried seeds of some *Brassica* species. *Acta Phytosociologica Sinica*, 1991, 17(3): 273-284. (in Chinese)
- [15] 朱 诚, 曾广文, 郑光华. 超干花生种子耐贮藏性与脂质过氧化作用. 作物学报, 2000, 26(2): 235-238.
Zhu C, Zeng G W, Zheng G H. The storage tolerance and lipid peroxidation in ultradried peanut seeds. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(2): 235-238. (in Chinese)
- [16] 胡家恕, 朱 诚, 曾广文, 郑光华. 超干红花种子抗老化作用及其机理. 植物生理学报, 1999, 25(2): 171-177.
Hu J S, Zhu C, Zeng G W, Zheng G H. Effect of aging-resistance of ultradried safflower seeds and its mechanism. *Acta Phytosociologica Sinica*, 1999, 25(2): 171-177. (in Chinese)
- [17] 朱 诚, 刘 信, 曾广文, 景新明, 吴 平. 不同水稻品种种子耐超干性差异及其热稳定蛋白的研究. 中国水稻科学, 2001, 15(4): 287-290.
Zhu C, Liu X, Zeng G W, Jing X M, Wu P. Difference of ultra-drying tolerance and heat-stable proteins in seeds of different rice cultivars. *Chinese Journal Rice Science*, 2001, 15(4): 287-290. (in Chinese)
- [18] 程红焱, 郑光华, 秦 红, 陶嘉龄, 周明德. 种子的耐干性及其超干贮藏下的水分热力学分析. 中国农业科学, 1996, 29(6): 65-73.
Cheng H Y, Zheng G H, Qin H, Tao J L, Zhou M D. Water thermodynamic analysis on seed desiccation tolerance and its ultradry storage effects. *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29(6): 65-73. (in Chinese)
- [19] 汪晓峰. 超干保存种质的种子活力控制问题的研究. 博士学位论文. 1999.
Wang X F. Studies on the vigour control of ultradried seeds stored for germplasm conservation. Ph.D. Dissertation. 1999. (in Chinese)
- [20] 郑晓鹰, 李秀清, 陈 杭. 不同超干方法与几种蔬菜种子储藏效应的研究. 园艺学报, 2001, 28(2): 123-127.
Zheng X Y, Li X Q, Chen H. Effect of different ultra-drying methods on vegetable seeds for long-term storage. *Acta Horticultura Sinica*, 2001, 28(2): 123-127. (in Chinese)
- [21] Wu X M, Wu N F, Qian X Z, Li R F, Huang F H, Zhu Li. Phenotypic and genotypic changes in rapeseed after 18 years of storage and regeneration. *Seed Science Research*, 1998, 8(Suppl. 1): 55-64.
- [22] 段乃雄, 姜惠芳. 常温条件下花生种质资源超干干燥贮藏研究. 中国油料学报, 1997, 19(4): 70-72.
Duan N X, Jiang H F. Studies on storage of groundnut seed in room temperature. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1997, 19(4): 70-72. (in Chinese)
- [23] 冯祥运, 张秀荣, 刘越英. 简易超干芝麻种子贮藏方法的研究. 中国油料学报, 1995, 17(3): 75-78.
Feng X Y, Zhang X R, Liu Y Y. A ultradry seed storage method for sesame seed. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1995, 17(3): 75-78. (in Chinese)
- [24] Zheng G H, Jing X X, Tao Karling. Ultradry seed storage cuts cost of gene bank. *Nature*, 1998, 393: 223-224.
- [25] Vertucci C W, Roos E E. Theoretical basis of protocols for seed storage. *Plant Physiology*, 1990, 94: 1019-1023.
- [26] 陶 梅. 北京地区常温贮藏条件下 8 种作物种子的最佳含水量研究. 硕士学位论文. 2000.
Tao M. Studies on optimal moisture contents for seeds of eight crops stored at ambient temperature in Beijing. Ma. D. Dissertation. 2000. (in Chinese)
- [27] 张云兰, 陶 梅, 郭新荣, 辛萍萍. 谷子、绿豆、碗豆和红小豆种子贮藏最适含水量研究. 种子, 2001(3): 16-20.
Zhang Y L, Tao M, Guo X R, Xin P P. Study on optimal moisture contents for seed storage of millet, mung bean, pea and adzuki bean. *Seed*, 2001(3): 16-20. (in Chinese)
- [28] 胡伟民, 段宪明, 阮松林. 超干水分长期贮藏对玉米、西瓜种子生活力和活力的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(1): 37-41.
Hu W M, Duan X M, Ruan S L. Effect of ultra-dry treatment and long-term storage on viability and vigor of corn and watermelon seeds. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2002, 28(1): 37-41. (in Chinese)
- [29] 张海英, 孟淑春, 孔祥辉. 多年超干贮存对大葱种子生理生化特性的影响. 华北农学报, 2001, 16(4): 47-51.
Zhang H Y, Meng S C, Kong X H. Study on the physiological-biochemical characteristics of Welsh Onion (*Allium fistulosum*) seed under ultra-low moisture content. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2001, 16(4): 47-51. (in Chinese)
- [30] 胡 晋, 徐 媛, 陈叶平, 吴殿星, 陆建荣. 超低温保存对某些作物种子生活力和活力的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1994, 20(4): 411-416.
Hu J, Xu A, Chen Y P, Wu D X, Lu J R. Effects of cryopreservation of seed vigor and viability of rice, rape and Chinese cabbage. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 1994, 20(4): 411-416. (in Chinese)
- [31] 张北壮, 傅家瑞, 徐是雄. 25 种农作物及蔬菜种子的超低温贮藏. 中山大学学报(自然科学版), 1990, 29(3): 115-121.
Zhang B Z, Fu J R, Xu S X. Studies on cryopreservation of seeds of crops and vegetables. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1990, 29(3): 115-121. (in Chinese)
- [32] 辛淑英, 谢 欣, 柳哲胜, 郭小丁, 唐 君, 李玉侠, 张允刚, 周明德. 基因库中离体保存甘薯种质遗传稳定性研究. 植物遗传资源学报, 2000, 1(3): 6-11.
Xin S Y, Xie X, Liu Z S, Guo X D, Tang J, Li Y X, Zhang Y G, Zhou M D. Studies on genetic stability of sweet potato germplasm maintained in *in vitro* genebank. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2000, 1(3): 6-11. (in Chinese)
- [33] 伊华林, 邓秀新. 柑橘愈伤组织保存初步研究. 华中农业大学学报, 1998, 17(1): 89-92.
Yi H L, Deng X X. Preliminary study on preservation of citrus calli. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 1998, 17(1): 89-92. (in Chinese)
- [34] 徐培文, 曲士松, 刘恒英, 张 杰, 孙晋斌, 黄宝勇. 中国大蒜种质资源离体保存初步研究. 中国农业科学, 2002, 35(3): 314-319.
Xu P W, Qu S S, Liu H Y, Zhang J, Sun J B, Huang B Y. A pre-

- liminary study on *in vitro* conservation of the garlic germplasm resources in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(3):314-319. (in Chinese)
- [35] 吴永杰, 赵艳华, 周明德. 苹果休眠茎尖的超低温保存研究. *华北农学报*, 1999, 14(1):129-133.
Wu Y J, Zhao Y H, Zhou M D. A study on cryopreservation of dormant apple shoot tips. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1999, 14(1):129-133. (in Chinese)
- [36] 王子成, 邓秀新. 玻璃化法超低温保存柑桔茎尖及植株再生. *园艺学报*, 2001, 28(4):301-306.
Wang Z C, Deng X X. Cryopreservation of citrus shoot-tips by vitrification and regeneration. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(4):301-306. (in Chinese)
- [37] 赵艳华, 吴永杰. 品丽珠葡萄离体茎尖超低温保存的研究. *园艺学报*, 2001, 28(1):62-64.
Zhao Y H, Wu Y J. Study on cryopreservation of *in vitro* cultured cabernet France shoot tips. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(1):62-64. (in Chinese)
- [38] 赵艳华, 吴永杰, 周明德. 马哈利樱桃离体超低温保存的研究. *园艺学报*, 1999, 26(6):402-403.
Zhao Y H, Wu Y J, Zhou M D. Cryopreservation of *in vitro* culture shoot tips of *Prunus mahaleb*. *Acta Horticulturae Sinica*, 1999, 26(6):402-403. (in Chinese)
- [39] 王彩虹, 田义轲. 杏休眠芽的超低温保存研究. *莱阳农学院学报*, 1997, 14(4):249-251.
Wang C H, Tian Y K. Studies of super-low temperature storage in dormant buds of *Prunus armeniaca*. *Journal of Laiyang Agricultural College*, 1997, 14(4):249-251. (in Chinese)
- [40] 李嘉瑞, 郭延平, 平民柱. 猕猴桃愈伤组织的超低温保存. *果树科学*, 1996, 13(2):88-91.
Li J R, Guo Y P, Ping M Z. Cryopreservation of *Actinidia deliciosa* calli. *Journal of Fruit Science*, 1996, 13(2):88-91. (in Chinese)
- [41] 马锋旺, 李嘉瑞. 杏原生质体的超低温保存. *园艺学报*, 1998, 25(4):329-332.
Ma F W, Li J R. Cryopreservation of apricot protoplasts. *Acta Horticulturae Sinica*, 1998, 25(4):329-332. (in Chinese)
- [42] 马锋旺, 李嘉瑞. 杏愈伤组织的超低温保存. *西北植物学报*, 1999, 19(1):67-70.
Ma F W, Li J R. Cryopreservation of apricot calli. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1999, 19(1):67-70. (in Chinese)
- [43] Specht C E, Keller E R J, Freytag U, Hammer K, Bömer A. Survey of seed germinability after long-term storage in the Gatersleben genebank. *Plant Genetic Newsletter*, 1997, 111:64-68.
- [44] Singh R B, Williams J T. Maintenance and multiplication of plant genetic resources. In: *Crop Genetic Resources: Conservation and Evaluation*. George Allen and Unwin, 1984:120-130.
- [45] 李 昂, 葛 颂. 植物保护遗传学研究进展. *生物多样性*, 2002, 10(1):61-71.
Li A, Ge S. Advances in plant conservation genetics. *Biodiversity Science*, 2002, 10(1):61-71. (in Chinese)

(责任编辑 孙雷心)

欢迎订阅《华北农学报》

《华北农学报》是由北京、天津、河北、河南、山西、内蒙古六省市、区农科院和农学会联合主办的大农业学术刊物。本刊立足华北,面向全国和全世界。主要刊载农业各学科的学术论文、研究报告以及科研简报,报道农业学术动态。主要读者对象为农业科研人员、农业高等院校师生和农业技术人员。

季刊,国内外公开发行,邮发代号 18-10,国内统一刊号:CN13-1101/S,每期定价 5.00 元,全年共计 20.00 元。

地 址:石家庄市和平西路 598 号河北省农林科学院《华北农学报》编辑部

邮政编码 050051

电 话 0311-7652166,7819249

E-mail hbnxb@sohu.com