

作物种质资源整体保护策略与实践

辛 霞,尹广鹏,张金梅,陈晓玲,何娟娟,刘运霞,黄雪琦,卢新雄

(中国农业科学院作物科学研究所,北京 100081)

摘要: 作物种质资源保护经过近百年来发展,逐步形成以非原生境保护与原生境保护为基础的整体保护策略,其要点:一是每一种作物种质类型,依据其生物学特性及其保护利用的需求,需发展适宜的保存方式/技术,实现种质资源遗传完整性或潜在进化能力的保护;二是一种作物种质资源,需组合多种保存方式,对其全体基因源实现完整的保护;三是在国家(区域)层面,需采用原生境和非原生境保护的方式,以及实行中期、长期与备份保存机制,实现种质资源多样性、完整性和安全性的保护,以供持续利用。至2021年底,我国已建成包括长期库、中期库、复份库、种质圃、试管苗库、超低温库在内的非原生境保存设施55个和原生境保护点214个,在国家层面上初步对作物种质资源实现了整体保护,保存总量达到52.8万份,为我国作物育种、种业发展和农业原始创新提供了雄厚的物质基础。本文阐述了作物种质资源整体保护策略的内涵、科学基础、及其国内外的应用实践,以期能进一步促进我国作物种质资源保护与利用的发展。

关键词: 作物;种质资源;整体保护

Strategies and Practices of the Integrated Conservation System for Crop Germplasm Resources

XIN Xia, YIN Guang-kun, ZHANG Jin-mei, CHEN Xiao-ling, HE Juan-juan,

LIU Yun-xia, Huang Xue-qi, LU Xin-xiong

(Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Profiting from the development in the past nearly hundred years, the national integrated conservation system for crop germplasm resources has been well established based on *ex situ* and *in situ* conservation strategies, which important points: (1) for each type of crop germplasm, it is necessary to develop suitable conservation methods/technologies according to its biological characteristics, and conservation and utilization needs, to achieve preservation the genetic integrity or potential evolutionary ability, (2) each crop germplasm needs to be combined with a variety of preservation methods, to achieve integrated conservation of its gene pool, (3) at the national (regional) level, it is necessary to adopt *in situ* and *ex situ* conservation methods, as well as medium-term, long-term and backup preservation mechanisms to conservation the diversity, integrity and security of germplasm resources for sustainable use. By the end of 2021, China has built 55 *ex situ* conservation facilities, including long-term, medium-term, duplicate, field, *in vitro*, and cryo genebanks, and 214 *in situ* conservation sites, which has ability to achieve the integrated conservation of crop germplasm resources at the national level, and the total amount of conservation has reached 528000 accessions, providing a solid material foundation for crop breeding, seed industry development and agricultural innovation. This article reviewed the development history, scientific basis, and application practices in China and abroad of the integrated conservation system, in order to promote the conservation and utilization of crop germplasm resources.

Key words: crop; germplasm resources; integrated conservation

收稿日期: 2021-12-06 修回日期: 2022-03-10 网络出版日期: 2022-03-17

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20211206002>

第一作者研究方向为作物种质资源保存, E-mail: xinxia@caas.cn

通信作者: 卢新雄, 研究方向为作物种质资源保存, E-mail: luxinxiong@caas.cn

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程

Foundation project: Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences

20 世纪 20-30 年代期间,苏联植物遗传学家与育种家瓦维洛夫从世界各地收集 25 万份作物古老地方品种和作物野生近缘种,为培育高产、环境适应性和抗逆性强的作物品种提供亲本材料,该行动被广泛认为是现代作物种质资源保护的先驱性工作^[1-2]。经过近百年的发展,全球已建设包括种质库、种质圃、试管苗库和超低温库等 1750 余座种质资源保存设施,收集保存作物野生近缘种、地方品种、育成品种和特殊遗传材料等种质资源达 740 万余份^[3]。种质载体包括种子、植株、块根、块茎、鳞茎、试管苗、茎尖、休眠芽、花粉、种胚等;保护设施从最早的低温种质库拓展到低温种质库、种质圃、试管苗库、超低温库、原生境保护点、DNA 库等;基本形成了异位保存与原生境保护相结合的整体保护策略。

与此同时,国际上也提出了种质资源整体保护概念,即对于某一作物,应综合传统的和现代的所有保存方法,整合异位保存和原生境保护等多种保存方式来整体保护该作物的全部遗传资源^[4-5]。本文从种质资源整体保护策略内涵、科学基础及其应用实践三个方面阐述,以期对我国作物种质资源保护工作起到促进和推动作用。

1 整体保护策略内涵

在作物种质资源保护工作中,常涉及到“保护”(Conservation)和“保存”(Preservation)两个概念。通常,保护是较为广义的概念,指多种保存技术的综合应用与资源管理利用^[6]。国际自然保护联盟对“保护”的定义是人类通过对生物圈(全体生物)的管理和利用,使其能给当代人最大的持久利益,同时保持它的遗传潜力以满足后代人的需要和愿望^[7]。保护的目的是维持生物及其栖息地以及生物与其生境之间相互关系的多样性。保存常指通过一定的技术措施,使种质资源繁殖体的生命力和遗传完整性得到维持的过程,如种子保存、植株保存和离体种质保存等^[6,8]。

作物种质资源保护始于种子保存,率先开始规模化种子保存的是瓦维洛夫。20 世纪 40 年代,美国 4 个区域引种站发现其室温贮藏的 16 万余份种子,仅 5%~10% 的样品能在田间出苗。为延长种子样品的寿命,同时也便于资源的规模化集中存放和育种家随时提取利用,利用空调技术建造了低温冷库,由此诞生了低温种质资源库^[9]。1958 年美国在科罗拉多州的柯林斯堡建成了世界上第一座国家级

种质库,开启了种质资源的长期保存战略实践,后于 1992 年对该库进行扩建,保存能力得到显著提升^[7,10],保存容量扩增至 150 万份。

植株保存是果树等无性繁殖作物种质资源最主要的保护方式。20 世纪 80 年代之前,美国果树种质资源主要由大学的植物育种家收集和保存,一旦他们退休、研究课题变换,或者研究经费短缺,就会造成种质资源的大量流失,数年研究所获得的种质资源转眼之间永远消失,造成了果树种质资源保存和育种工作的不确定性。1980 年在美国俄勒冈州的科瓦利斯建设了世界上第一个专门用于保存果树种质资源的国家级种质圃^[11],种质圃又称田间种质库,保护方式是植株种植保存(含块根、块茎、鳞茎等方式的保存),简称植株保存。

离体种质保存已成为薯类等无性繁殖作物种质资源保护方式。鉴于资源保存在野外环境,易受火灾、洪水、地震、泥石流、低温冻害等自然灾害危害,以及病虫害的侵袭,资源易得而复失,以及由于资源保存数量大,需耗费大量土地、人力和物力来种植,或者需较大空间来贮藏越冬繁殖体,且其块根、块茎等繁殖体上所携带的病原物难以去除,易传播检疫性的病虫害。1975 年首次利用试管苗和超低温离体技术保存植物种质,尤其在马铃薯、甘薯、香蕉、苹果、桑树等作物得到普遍应用,保存载体包括试管苗、茎尖、休眠芽、花粉、种胚等^[8,12]。离体保存方式中试管苗保存属于中期保存,超低温保存属于长期保存。

原生境保护是在自然条件下对作物野生近缘种及其进化过程进行保护,维持其进化潜力,保护物种与环境互作的进化过程^[13-14]。原生境保护可以分为物理隔离保护、主流化保护、农场保护等三种类型^[15]。原生境保护点是野生近缘植物的保存方式,农场保护点和庭院保护点是作物地方品种的保存方式。

通过作物种质资源安全保存方面研究^[6],整体保护内涵应包括(图 1):(1)在“种质”层面。依据其生物学特性及其保护利用的需求,需发展适宜的保存方式/技术,实现种质资源遗传完整性或潜在进化能力的保护。如水稻、小麦等作物,其适宜保护方式为种子保存于低温种质库中,而马铃薯、甘薯等无性繁殖类作物,其适宜保护方式为块茎、块根保存于种质圃和试管苗保存于离体库,野生近缘植物适宜保护方式为原生境保护点,作物地方品种适宜保存方式为农场保护点和庭院保护点。(2)在“作物”层面。每一种作物种质资源需多种

保存方式组合,对其全体基因源实现完整的保护。例如,小麦作物种质资源需通过种质库、种质圃和原生境保护点来整体保存其全部基因源,包括栽培小麦及其野生近缘植物种质资源。(3)在“国家”或

“区域”层面。需采用原生境和非原生境保护的方式,同时对所有收集保存资源实行中、长期与备份保存机制,实现种质资源多样性、完整性和安全性的保护,提高资源的共享利用效率。

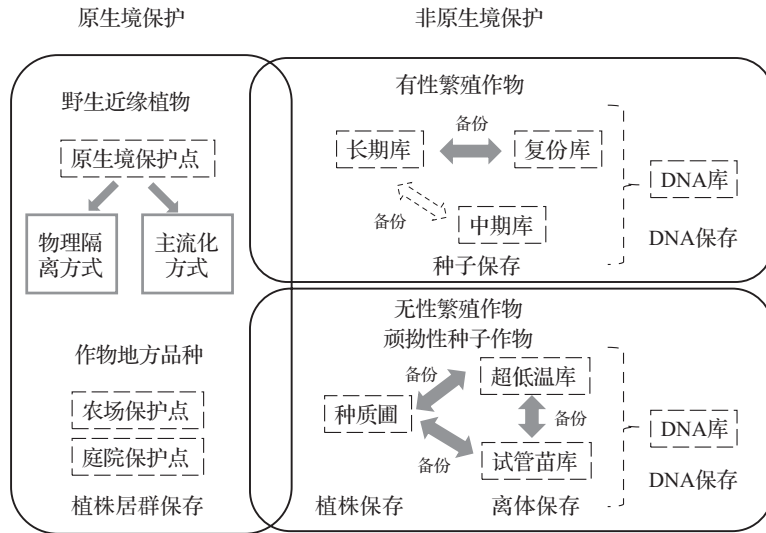


图1 作物种质资源整体保护
Fig.1 The integrated conservation system of crop germplasm resources

2 整体保护的科学基础

采取整体保护策略,最主要影响因素是种质资源生物学特性,该因素决定着采用何种保存方式;其次是种质资源的不可再生性;第三是资源保护的经济性和便利性。

2.1 生物学特性的多样性

各类物种(类型)资源的保存方式主要基于生物学特性。生物学特性主要包括:有性和无性等繁殖方式,正常性、顽拗性和中间性等种子贮藏习性,以及一年生和多年生的生长习性等(图2)。

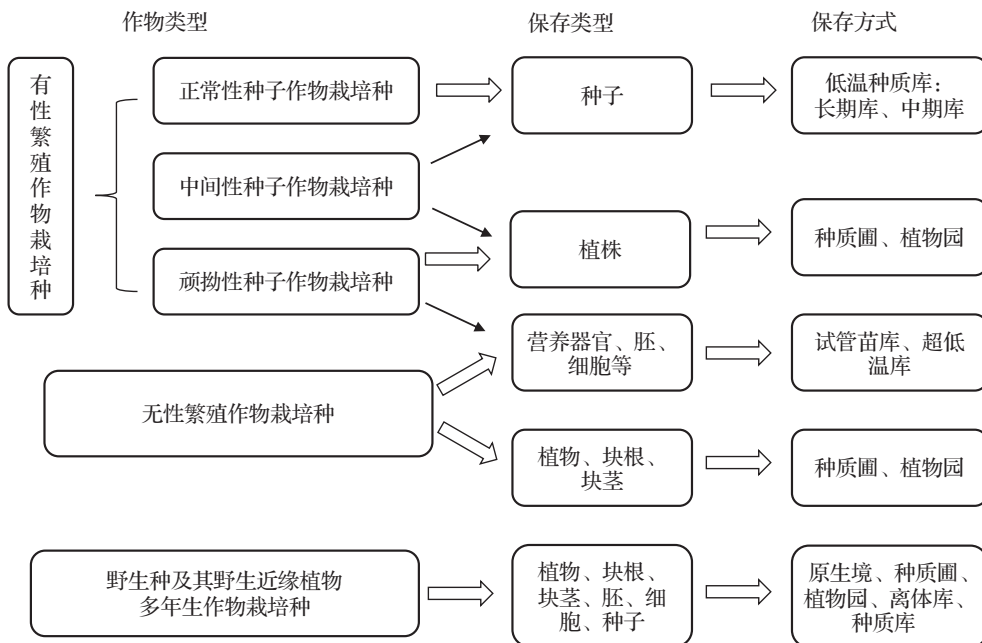


图2 各类作物种质资源(类型)的适宜保存方式
Fig.2 Suitable conservation methods of various crop germplasm resources

对于有性繁殖作物,种子是最主要的保护载体。种子是大多数作物的繁殖器官,蕴藏着亲本物种所固有的遗传物质,使物种遗传特性稳定延续,因此通过保存种子实现作物种质资源的世代延续。水稻、小麦、玉米、大豆等作物产生正常性种子,这类种子耐低温耐干燥,在一定温度和含水量范围内,其寿命可显著延长^[12,16]。主要原因是种子干燥脱水至适宜含水量时,细胞内游离水几乎被去除,细胞质呈高度黏滞的玻璃态,生理代谢极其缓慢,从而延长保存寿命^[17-18]。在我国国家长期库,贮藏温度-18℃、种子含水量5%~7%、密封包装,贮藏26年后,水稻、小麦、玉米、大豆等作物种子发芽率几乎没有下降,仍保持在90%以上^[6]。因此,低温种质库保存,能较长时间维持种质资源的高生活力和遗传完整性。然而,对于产生顽拗性种子的有性繁殖作物,一般当含水量低于20%,或低温贮藏时种子就不易存活,因此,其种子不适宜作为保存载体^[19-21]。例如可可、橡胶树等热带作物,芒果、榴莲等热带果树,以及菱、茭白等水生蔬菜等产生顽拗性种子的种质资源,不能保存于低温种质库。目前,主要通过种质圃的方式进行保存。产生中间性种子的作物,主要采用低温库种子保存方式,但需控制种子含水量避免脱水过度,或不能在-18℃低温库保存^[21]。

对于多年生有性繁殖的作物野生近缘种,如野生稻、小麦野生近缘种、多年生牧草等,其生长期为多年生开花植物,种子成熟期不一致,且易落粒,不易采集到足够量的种子。因此,这类多年生作物也主要采用田间种质圃保存植株。植株可多年生长存活,处于随时可用于鉴定评价与利用的状态,这类资源一般也可采集种子保存于低温种质库,与种质圃和原生境保护点的保存构成互补。

对于无性繁殖作物,如苹果、桃、梨等果树作物,其多以异花授粉为主,且有一定数量的多倍体物种,遗传背景复杂。种子多为雌雄株产生的自然杂种,利用实生种子繁殖常会产生分离和变异,与亲本植物在遗传和表型上不一致,而且需要多代甚至不可能产生具有稳定遗传特性的种子。因此这类作物种质资源不能通过种子保存方式来维持其种质基因型的稳定性。另外,有些植物是不育的,不能产生种子或只能产生少量种子,如山药、芋头、香蕉、马铃薯、甘薯、木薯、菠萝和甘蔗等。这些物种往往具有无性繁殖特性,即其繁殖不经过雌、雄性细胞的结合而由母体直接产生子代,即其植株营养体部分具有再生

繁殖的能力,如植株的根、茎、芽、叶等营养器官及其变态器官块根、球茎、鳞茎、匍匐茎、地下茎等,可利用其再生能力,采取分根、扦插、压条、嫁接等方法繁殖后代,即所谓的营养繁殖保持与母本相同的整套遗传信息,可维持物种遗传稳定性的延续。因此,这些作物主要采用种质圃植株方式进行保存。

2.2 物种或种质资源的不可再生性

物种或种质资源很重要的属性之一是不可再生性,即一旦灭绝后,就不可能再恢复了。种质圃植株保存种质资源存在以下缺点或风险^[6,22]:一是某些物种资源保存数量较大,需耗费大量土地来种植,或者需要较大空间来贮藏带有休眠芽的越冬繁殖体,如马铃薯、甘薯等薯类作物,若种质资源数量较大时,需要大量人力和物力来收获薯块在贮藏窖中越冬,实施操作难度很大。二是由于资源保存在野外环境,易受火灾、洪水、地震、泥石流、低温冻害等自然灾害危害,以及病虫害的侵袭,资源易得而复失。三是种苗、枝条或块根、块茎等植物繁殖体上所携带的病原物难以去除,当种质资源引到其他地方种植,或进行国际资源交换时,易传播一些检疫性的病虫害。因此,人们期望找到一种室内保存途径,能起到对种质圃种质资源备份安全保存的作用,同时也便于迅速扩繁,以供科学研究及育种等利用。基于植物细胞全能性原理,这类作物通过组织培养方式获得试管苗进行离体保存,或采用茎尖、休眠芽(枝条)、合子胚(胚轴)、花粉等外植体进行超低温保存,可维持物种遗传稳定性的延续。利用组织培养技术和冷冻技术,发展形成了缓慢生长(或称限制性生长)的中期保存和暂停生长的长期保存技术体系,有上千种植物进行了繁殖体收集、扩繁和种质资源保存,即通过试管苗库和超低温库分别实现离体种质资源中期和长期保存^[23]。

2.3 资源保护的经济性和便利性

保护方式的选择需考虑保存成本和利用便利,例如,对于薯类、草莓等栽培品种的种质资源,试管苗保存是主要方式,田间植株保存是次要方式,两者缺一不可,互为补充。这主要是试管苗保存成本较低,种质经脱毒等处理,不携带病原菌,扩繁快,易于提取分发利用。而试管苗保存随着继代次数增加,体细胞变异几率增加,继代到一定次数后,需要再采用田间植株保存,然后再进行下一个循环的试管苗保存。对于薯类等野生资源,除原生境和种质圃的植株保存外,也常采集种子保存到低温库以节约保存成本和利用便利。

3 整体保护的实践

国内外很多作物种质资源大国通过构建了原生境与非原生境的互为补充的整体保护体系,尤其在非原生境保存体系方面,建设不同类型且互为备份的整体安全保存设施体系,以确保种质资源的安全保存,并能够有效提供利用。

3.1 国外整体保存体系实践

国际农业研究磋商组织的 11 个农业研究机构建设了低温种质库、种质圃、试管苗库、超低温库等设施,满足该机构各类种质资源整体保护需求,共保存各类资源 69 万余份^[3]。其与挪威政府合作,在斯瓦尔巴德群岛建设全球种子库,实施了种子类资源的备份保存策略^[24]。在作物水平,例如国际马铃薯中心(CIP, International Potato Center)收集保存了来自全球的马铃薯、甘薯和安第斯山块根茎作物种质资源,至 2020 年底,收集保存试管苗库资源合计 11000 份。对于野生资源,主要是种质圃植株保存,同时收集种子保存于低温库中,马铃薯、甘薯等野生近缘作物种子保存在 -20℃ 冷库;对于栽培种的资源,采用试管苗保存和种质圃块根块茎保存,块根类收获后存贮在 20℃ 的冷室中,块茎类存贮在 7℃ 的冷室中。在备份保存方面,每年新增超低温长期保存份数 400 份^[25],离体超低温长期保存占 CIP 资源数量的 25% 以上,野生种子送到斯瓦尔巴德的种质库备份保存,马铃薯试管苗库资源保存到巴西的农业研究机构中,甘薯试管苗库资源保存到哥伦比亚的国际热带农业中心。

美国是在国家层面上,整体保护体系建设最早且是较为成功。在科罗拉多州的柯林斯堡建成了世界上第一座国家级种质库,负责全美种子类作物种质资源的长期保存,并与 15 个种子类资源中期库,相互构成了备份保存机制。在俄勒冈州的科瓦利斯建立了世界上第一个国家级种质圃,专门保存果树等无性繁殖作物种质资源,随后建设了 8 个国家级种质圃^[11]。美国的无性系植物种质资源主要保存在 9 个种质圃和 6 个原生境保存点中,在种质圃中保存的资源有 41500 份,其中 4425 个物种的 31070 份资源已被鉴定,并可供分发^[26]。每个种质圃均建立试管苗库和超低温库,对种质圃中珍稀资源进行离体种质的备份保存。在柯林斯堡的国家种质库也建设超低温种质库,负责全美无性繁殖类资源的离体长期保存,与各个种质圃构成了互为备份保存机制。美国整体保护体系共保存种质资源 60 万余份,

物种 1.5 万余个,种子类资源和无性繁殖类资源的长期备份保存比例分别为 86% 和 15%^[24]。美国早在 20 世纪 90 年底就开展葡萄属近缘野生种原生境保护工作,之后相继开展了葱、山黧豆、辣椒、山核桃等野生近缘种就地保护工作,发布了野生近缘种保护的国家指南^[27]。美国作物种质资源整体保护策略的成功实践,使其收集保存数量一直处于世界领先地位,每年分发资源数量 25 万份次,是美国乃至其他一些国家作物育种亲本材料的主要来源^[28]。

其他作物种质资源大国也建立了类似的整体保存设施体系。印度国家种质库集低温种子库、试管苗库、超低温库、DNA 库,保存容量为 100 万份,超低温库的保存容量为 25 万份。日本国家种质库保存容量为 40 万份,低温种子库的存取系统实现了全自动化。韩国国家种质库(水原)集低温种子库、试管苗库、超低温库、DNA 库等,低温种子库保存容量为 50 万份,其冷库的存取系统为全自动化。2014 年,韩国又在全州市新建了一座种质库,其整体功能和面积与水原基本相同;水原种质库的定位为全州种质库的复份库。

3.2 我国整体保存体系实践

我国现代化保存设施建设始于 20 世纪 70 年代,1975 年我国政府就开始在北京中国农业科学院院部筹划建设国家作物种质库 1 号库,以承担全国作物种质资源的长期保存工作,但直到 1978 年 12 月才动工兴建,1984 年落成并于 1985 年投入使用;1986 年又在中国农业科学院院部建设了当时最为现代化的国家作物种质资源长期库,又称国家作物种质库 2 号库。长期库建成后,1 号库功能定位为国家粮食作物中期库^[8]。国家种质圃建设始于 20 世纪 80 年初,我国政府通过世界银行贷款建设 15 个果树种质圃,并相继于 1987-1989 年间建设完成^[29],它们是国家作物种质梨苹果圃(兴城)、国家作物种质寒地果树圃(公主岭)、国家作物种质李杏圃(熊岳)、国家作物种质葡萄桃圃(郑州)、国家作物种质核桃板栗圃(泰安)、国家作物种质桃草莓圃(北京)、国家作物种质桃草莓圃(南京)、国家作物种质柑橘圃(重庆)、国家作物种质柿圃(原在眉县,后移到杨凌)、国家作物种质枣葡萄圃(太谷)、国家作物种质砂梨圃(武昌)、国家作物种质荔枝香蕉圃(广州)、国家作物种质云南特有果树及砧木圃(昆明)、国家作物种质新疆特有果树及砧木圃(轮台)、国家作物种质龙眼枇杷圃(福州)。1992 年在青海建成国家作物种质复份库,之后国家又投资建设 10

个作物中期库,马铃薯和甘薯试管苗库和其他作物种质圃。

至 2021 年底,我国已建成以国家长期库为核心,以国家中期库、种质圃、试管苗库和原生境保护点为支撑的国家级作物种质资源整体保护体系,包括:非原生境保存设施 55 个,含国家作物种质长期库 1 个(含试管苗库、超低温库)、国家作物种质复份库 1 个、国家作物种质中期库 10 个、国家作物种质圃 43 个(含马铃薯和甘薯试管苗库),作物野生近缘种原生境保护点 214 个。长期保存资源 527938 份,物种 2346 个,其中国家长期库保存资源 458434 份,43 个国家圃保存资源 69504 份,资源保存数量位居世界前列;种质圃保存资源主要包括苹果、梨、桃、香蕉等果树,甘薯、马铃薯、木薯等薯类,茭白、大蒜等蔬菜,橡胶、椰子等热带作物,野生稻、小麦近缘野生植物等多年生植物,以及香料、饮料、草本花卉等特异资源,作物有 50 余种(类),物种有 1469 个,其多样性非常丰富;原生境保护点保存物种 39 个,分布于 27 个省份。对于种子类种质资源,形成国家长期库、国家复份库和国家中期库保存种质互为备份机制,资源备份保存比例达 98% 以上;对于无性繁殖作物,形成国家种质圃的植株保存与试管苗库、超低温库离体种质保存互为备份机制,如甘薯和马铃薯种质既有种质圃块根、块茎保存,也有组织培养物的试管苗保存,并在国家作物种质库新库建立 20 万份容量的超低温库,拟对马铃薯、甘薯等无性繁殖作物种质资源进行离体长期备份保存。对于多年生野生近缘植物,形成种质圃、原生境保护点的植株保存与低温库种子保存备份机制,如野生稻,既建立原生境保护点,也在种质圃保存,同时收集种子在种质库进行保存^[29-31]。

随着国家作物种质库新库的建成,我国作物种质资源进入一个立体、互为安全备份、全方位的整体保护新阶段,形成集长期库、中期库、复份库、种质圃、试管苗库、超低温库等为一体的整体保护设施体系,为全方位完整地保护作物基因源奠定基础。我国作物种质资源整体保护体系每年向社会分发提供资源 8.1 万份次,对我国作物育种和农业发展起到了重要支撑作用。

4 展望

4.1 加强整体保护理论和技术研究

整体保护理论基础研究还是相对薄弱,主要

是各类资源遗传完整性丧失的生物学机制尚不清楚,相关遗传完整性评价指标仍处于探讨完善阶段。例如在异质种质群体中,需要从分子水平进一步研究不同基因型、不同有效群体、不同生态环境对种质遗传完整性变化的影响机制^[32]。对于无性繁殖作物,尽管形成了种质圃与离体保存的试管苗和超低温之间的整体保存机制,超低温离体种质最长已有 20~30 年,但长期保存遗传稳定性效果还有待进一步实践检验^[23]。药用植物在生态环境不适宜的地区种植,药效会丧失^[33]。我国地域辽阔,资源多样性丰富,有 9631 个粮食和农业植物物种^[34],尤其是许多特色、特异资源与当地生态环境条件密切相关,因此,资源收集保存于某一地点进行集中保存,虽然许多资源在新地点能完成生长周期,但需加强资源特异性状、繁育特性及其生态适应性等机制的研究,以确保资源特异性状的维持。此外,由于环境恶化或遭受病虫害危害,许多濒危、珍稀资源在野外面临消失风险,因此需要加强这类资源保存方法研究,以实现其在异位保存设施中妥善保存。

作物野生近缘种原生境保护研究,需首先考虑居群取样原则,同时充分利用基因组、表型组以及环境信息等大数据体系,进行原生境保护理论研究。有效监测原生境保护群体等位基因频率的变化,评估遗传漂变、选择和基因流对原生境保护群体的影响。结合环境气候因子的变化,阐明群体适应环境变化的遗传因素,揭示物种灭绝与濒危机制。增强气候变化对作物野生近缘种生物群落影响的认识,充分考虑作物野生近缘种适应气候变化的能力,将气候变化的理念融入到作物野生近缘种原生境保护机制中。研究制定物理隔离和主流化相结合的原生境保护策略。一方面应利用物理隔离方式对一些作物野生近缘植物的濒危居群进行强制性保护,避免一些重要居群的野外灭绝,另一方面则应利用生物多样性主流化方式动员全社会的保护力量,实现可持续保护^[14, 31, 34]。

4.2 加强保存设施体系规划布局与建设

我国作物种质资源整体保护体系,仍有几方面工作应重点加强,一是种质圃的规划布局建设工作。目前种质圃建设存在的主要问题:由于历史原因,多数种质圃是以一两种无性繁殖作物(或多年生)为保存对象,而没有考虑特有资源生态适应性问题,则导致许多生态类型多样的特异资源未能得到妥善保存,以及有些无性繁殖作物丰富地区尚未建设种质圃。为此,需以实现全方位妥善保存无性

繁殖作物种质资源的目标,对种质圃功能职责和布局加以完善:一方面应遵循国际上种质圃建设原则,重点将现有种质圃扩建为综合性种质圃;另一方面,对于多样性及类型较为丰富的特色作物或特色生态地区,新建一批专业或特色作物种质圃,以妥善保存这些珍贵资源。二是加强省级种质库(圃)的建设。建议各省在资源摸底调查的基础上,合理布局库圃设施建设规划,各个省至多建设1座作物类综合性种质库和若干个种质圃,定位为中期库,承担全省各类资源收集保存、鉴定评价、分发利用、种质创新、优异种质展示等工作,同时依托该种质库的单位,挂牌设立省级种质资源保护与利用中心,负责牵头协调各省(自治区、直辖市)作物种质资源工作,为政府提供决策,业务上接受国家中心指导。三是加强原生境保护点建设。利用主流化保护方式建立作物野生近缘植物原生境保护点,以及建立适合不同物种、不同地点的原生境保护激励机制。通过生物多样性的主流化,将生物多样性纳入到经济、社会发展的主流,从而避免先破坏后保护,做到防患于未然,使生物多样性保护与经济发展得以同步进行。

4.3 加强与国外重要的资源保护机构的合作

国际组织或国家之间进行种质资源相关备份保存,是作物种质资源整体保护的重要组成部分。国际合作是获得资源的重要途径,现在美国种质资源每年仍以1万余份数量在增长,很大程度上是美国农业部通过国外合作项目获得的。因此,我国有必要通过与“一带一路”沿线国家进行作物种质资源合作与交流;可以与作物多样性信托基金合作,利用其经费繁殖部分种质资源存放到全球种质库备份保存;可以利用新库为保存设施欠缺的国家提供资源备份保存,从而促进与世界各国的合作;同时加强与美国以及国际农业磋商组织的农业研究中心的保存机构合作,开展保存技术研究,促进我国整体保护技术与方法的进步。

参考文献

- [1] Plucknett D L, Smith N J H, Williams J T, Anishetty N M. Gene banks and the world's food. New Jersey: Princeton University Press, 1987: 41-71
- [2] Hawkes J G. N. I. Vavilov—the man and his work. Biological Journal of the Linnean Society, 1990, 39: 3-6
- [3] FAO. The second report on the state of world's plant genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO, 2010: 55-90
- [4] Ramanatha Rao V, Parthasarathy V. Horticultural genetic resources conservation: Priorities, challenges and way forward//Rajasekharan P E, Ramanatha Rao V. Conservation and utilization of horticultural genetic resources. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2019: 27-48
- [5] Engelmann F, Engels J M M. Technologies and strategies for *ex situ* conservation// Engels J H H, Rao V R, Brown A H D, Jackson M T. Managing plant genetic diversity. Wallingford: CAB International, 2002: 89-104
- [6] 卢新雄, 辛霞, 刘旭. 作物种质资源安全保存原理与技术. 北京: 科学出版社, 2019: 11-21
Lu X X, Xin X, Liu X. The principle and technology of the safe conservation of crop germplasm resources. Beijing: Science Press, 2019: 11-21
- [7] Damania A B. History, achievements, and current status of genetic resources conservation. Agronomy Journal, 2008, 100 (1): 9-21
- [8] 刘旭, 曹永生, 张宗文. 农作物种质资源基本描述规范和术语. 北京: 中国农业出版社, 2008: 42
Liu X, Cao Y S, Zhang Z W. Basic descriptors and terms for crop. Beijing: China Agriculture Publishing House, 2008: 42
- [9] Hyland H L. History of plant introduction. Environmental Review, 1977, 4 (77): 26-33
- [10] Qualset C O, Shands H L. Safeguarding the future of U.S. agriculture: The need to conserve threatened collections of crop diversity worldwide. Washington, DC: Report Released on February 28, 2005 at A Congressional Briefing, 2005: 27-30
- [11] Postman J, Hummer K. Fruit and nut genebanks in the US National Plant Germplasm System. Hortscience, 2006, 41 (5): 1188-1194
- [12] Harrington J F. Practical advice and instructions on seed storage. Proceedings of the International Seed Testing Association, 1963, 28: 989-994
- [13] Meilleur B A, Hodgkin T. *In situ* conservation of crop wild relatives: Status and trends. Biodiversity and Conservation, 2004, 13: 663-684
- [14] Dulloo M E, Hunter D, Borelli T, Hamon S, Pamfil D, Sestras R. *Ex situ* and *in situ* conservation of agricultural biodiversity: Major advances and research needs. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2010, 38: 114-122
- [15] 郑殿升, 杨庆文. 中国作物野生近缘植物资源. 植物遗传资源学报, 2014, 15 (1): 1-11
Zheng D S, Yang Q W. Genetic resources of wild relatives of crops in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15 (1): 1-11
- [16] Ellis R H, Roberts E H. Improved equations for the prediction of seed longevity. Annals of Botany, 1980, 45: 13-30
- [17] Williams R J, Leopold A C. The glassy state in corn embryos. Plant Physiology, 1989, 89 (3): 977-981
- [18] Sun W Q. Glassy state and seed storage stability: The WLF kinetics of seed viability loss at $T > T_g$ and the plasticization effect of water on storage stability. Annals of Botany, 1997, 79 (3): 291-297
- [19] Walters C, Berjak P, Pammenter N, Kennedy K, Raven P. Preservation of recalcitrant seeds. Science, 2013, 339: 915-916
- [20] Wesley-Smith J, Berjak P, Pammenter N W, Walters C. Intracellular ice and cell survival in cryo-exposed embryonic axes of recalcitrant seeds of *Acer saccharinum*: An ultrastructural study of factors affecting cell and ice structures.

- Annals of Botany, 2014, 113: 695-709
- [21] Walters C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: Describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. *Planta*, 2015, 242: 397-406
- [22] Reed B M, Engelmann F, Dulloo M E, Engels J M M. Technical guidelines for the management of field and *in vitro* germplasm collections// IPGRI handbooks for genebanks No. 7. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 2004: 24-65
- [23] Pence V C, Ballesteros D, Walters C, Reed B M, Philpott M, Dixon K W, Pritchard H W, Culley T M, Vanhove A C. Cryobiotechnologies: Tools for expanding long-term *ex situ* conservation to all plant species. *Biological Conservation*, 2020, 250: 108736
- [24] Westengen O T, Jeppson S, Guarino L. Global *ex-situ* crop diversity conservation and the Svalbard Global Seed Vault: Assessing the current status. *PLoS ONE*, 2013, 8(5): e64146
- [25] Vollmer R, Villagaray R, Cardenas J, Castro M, Chavez O, Anglin N L, Ellis D. A large-scale viability assessment of the potato cryobank at the International Potato Center (CIP). In *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 2017, 53 (4): 309-317
- [26] Jenderek M M, Reed B M. Cryopreserved storage of clonal germplasm in the USDA National Plant Germplasm System. In *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 2017, 53: 299-308
- [27] Meilleur B A, Hodgkin T. *In situ* conservation of crop wild relatives: Status and trends. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 663-684
- [28] Byrne P K, Volk G M, Gardner C, Gore M A, Simon P W, Smith S. Sustaining the future of plant breeding: The critical role of the USDA-ARS National Plant Germplasm System. *Crop Science*, 2018, 58: 1-18
- [29] 王力荣. 我国果树种质资源科技基础性工作 30 年回顾与展望建议. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(3): 343-349
- Wang L R. Review for the past three decades and developmental suggestions for fruit germplasm resource in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(3): 343-349
- [30] 刘旭, 李立会, 黎裕, 方涛. 作物种质资源研究回顾与发展趋势. *农学报*, 2018, 8(1): 1-6
- Liu X, Li L H, Li Y, Fang W. Crop germplasm resources: Advances and trends. *Journal of Agriculture*, 2018, 8(1): 1-6
- [31] 郑晓明, 陈宝雄, 宋玥, 李飞, 王君瑞, 乔卫华, 张丽芳, 程云连, 孙玉芳, 杨庆文. 作物野生近缘种的原生境保护. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(5): 1103-1109
- Zheng X M, Chen B X, Song Y, Li F, Wang J R, Qiao W H, Zhang L F, Cheng Y L, Sun Y F, Yang Q W. *In-situ* conservation of wild relatives of crops. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(5): 1103-1109
- [32] 卢新雄, 辛霞, 尹广鹏, 张金梅, 陈晓玲, 王述民, 方涛, 何娟娟. 中国作物种质资源安全保存理论与实践. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(1): 1-10
- Lu X X, Xin X, Yin G K, Zhang J M, Chen X L, Wang S M, Fang W, He J J. Theory and practice of the safe conservation of crop germplasm resources in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(1): 1-10
- [33] 缪剑华, 肖培根, 黄璐琦. 药用植物保育学. 北京: 科学出版社, 2017: 22-40
- Miao J H, Xiao P G, Huang L Q. Conservation of medicinal plants. Beijing: Science Press, 2017: 22-40
- [34] 刘旭, 郑殿升, 董玉琛, 朱德蔚, 方嘉禾, 费砚良, 贾敬贤, 蒋尤泉, 杨庆文, 王述民, 黎裕, 曹永生. 中国农作物及其野生近缘植物多样性研究进展. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(2): 411-416
- Liu X, Zheng D S, Dong Y C, Zhu D W, Fang J H, Fei Y L, Jia J X, Jiang Y Q, Yang Q W, Wang S M, Li Y, Cao Y S. Diversity assessment of crops and their wild relatives in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9(2): 411-416