

种质圃作物种质资源安全保存策略与实践

卢新雄¹, 王力荣², 辛霞¹, 尹广鹓¹, 张金梅¹, 陈晓玲¹, 何娟娟¹, 刘运霞¹

(¹中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ²中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要: 苹果、梨、柑橘、香蕉等果树作物, 马铃薯、甘薯、木薯等薯类作物, 以及橡胶、椰子、油棕等热带经济作物, 需通过植株、块根、块茎、鳞茎、种茎等繁殖体在种质圃进行种植保存, 这类作物统称为“种质圃保存作物”或“圃位保存作物”。近40年以来, 通过建设良好保存设施, 构建规范化保存技术和实施资源备份保存, 创建了种质圃作物种质资源安全保存策略。随着国家作物种质库新库的试管苗和超低温保存设施的投入使用, 我国初步建成了以种质圃为主, 集种质圃、试管苗库、超低温库、原生境保护点为一体的保护设施体系, 为实现圃位作物种质资源多样性、完整性、安全性的保存和持续利用奠定了可靠保障。至2021年12月, 我国43个国家种质圃共收集保存种质资源69,504份, 隶属1,469个物种(含亚种), 是世界上种质圃保存资源数量最多的国家。本文阐述了种质圃保存作物的繁殖特性, 植株安全保存影响因素与技术策略, 实践应用及展望等, 以期对我国种质圃作物种质资源的安全保存起到促进作用。

关键词: 作物种质资源; 种质圃; 保存策略; 安全保存

Strategy and Practice of the Safe Conservation of Crop Germplasm Resources in National Field Genebanks of China

LU Xin-xiong¹, WANG Li-rong², XIN Xia¹, YIN Guang-kun¹, ZHANG Jin-mei¹,
CHEN Xiao-ling¹, HE Juan-juan¹, LIU Yun-xia¹

(¹Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

²Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009)

Abstract: The crops, including apple, pear, citrus, banana and other fruit tree crops, and potato, sweet potato, cassava and other tuber crops, as well as rubber, coconut, oil palm and other tropical economic crops, have to be planted through propagules such as plants, roots, tubers, bulbs and seed stems. Based on the difference on long-term conservation strategy, these species are referred “field genebank conservation crops”. In the past 40 years, through the construction of conservation facilities, technical procedures on sampling and preservation, as well as backup preservation, the strategy of safe conservation of germplasm resources in germplasm field has been created in National Field Genebanks of China. With the application of newly-established *in vitro* and cryopreservation facilities in National Crop Genebank of China, a preliminary integrated conservation system, including the National Field Genebanks as the core, *in vitro* genebank, cryopreservation genebank and *in situ* protection sites, is able to guarantee the long-term safe conservation and continuous utilization of diversified field genebank preservation crops. By December of 2021, forty-three National Field Genebanks have maintained 69,504 accessions of 1,469 species or subspecies, hosting the largest number of accessions in the world. This article reviews the reproductive characteristics of the conserved germplasm resources in National Field Genebanks of China, the factors that affect safe conservation and the corresponding strategies that address to these factors, as well as the practical applications and prospects of the conservation facilities system, in order to provide insights on safe preservation of these special germplasm resources in China.

Key words: crop germplasm resources; field genebank; conservation strategy; safe conservation

收稿日期: 2022-06-02 修回日期: 2022-07-01 网络出版日期: 2022-07-08

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220602001>

第一作者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

苹果、梨、柑橘、香蕉等果树作物,马铃薯、甘薯、木薯等薯类作物,橡胶、椰子、油棕等热带经济作物,水生和多年生蔬菜,多年生牧草,以及野生稻、小麦近缘野生植物等种质资源,一般不能采用低温种质库种子保存方式,而是需采用植株或块根、块茎、鳞茎、种茎等繁殖体,在种质资源圃(简称种质圃)种植保存,从保存角度属于“种质圃保存作物”或“圃位保存作物”,简称“圃存作物”。这类作物对于提高人们生活质量,促进农业可持续发展起到了重要作用,且在国民经济发展中具有重要地位,因此世界各国都非常重视对这类作物种质资源的收集保存与利用,可以说种质圃的植株保存是作物种质资源多样性整体保护不可或缺的重要途径之一。

种质圃是从植物园、果园或庭园发展演变而来的,是用最少的活体植株样本量,在物种和遗传水平上,最大限度地确保种质资源的世代延续,并维持其遗传多样性和遗传稳定性,以供人类持续利用^[1]。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,是于1980年建立在美国俄勒冈州的科瓦利斯(Corvallis)^[2]。我国于20世纪80年代中期,首批建设了15个果树类的国家级种质圃^[3],至2021年底共建成国家级种质圃43个。圃位保存作物的种质特性复杂多样,其繁殖体有植株、块根、块茎、鳞茎、种茎等,植株生活型有草本、灌木、乔木、藤本等,植物生活周期从一年生、二年生到多年生,种质类型除栽培类型外,还有野生类型及其近缘种等。此外,由于种质资源需在野外田间活体种植保存,易受极端天气和病虫害危害,或因种质圃选址不当,缺乏适宜保存技术等原因,导致资源遭受损失或绝种的现象时有发生^[3-6],给种质圃种质资源安全保存带来很大挑战。从作物种质资源保护策略来讲,需尽最大限度对全体作物种质资源的多样性、完整性、安全性实施整体保护,其技术层面上的操作策略主要受种质资源的生物学(繁殖)特性、不可再生性和资源保护的经济性和便利性等因素的影响^[7]。本文从种质圃保存作物的繁殖特性、安全保存机制与策略、实践应用等方面进行详细评述,以期对我国种质圃作物种质资源安全保存起到促进作用。

1 种质圃保存作物的繁殖特性

圃位保存作物主要包括无性繁殖作物、顽拗性种子作物和多年生野生近缘植物等三大类,其种类繁多,且物种间繁衍或繁殖方式十分多样。了解这

些物种种质资源的繁衍或繁殖特性,是确定其保存策略的前提。

1.1 无性繁殖作物

大部分果树、薯类等作物属于无性繁殖作物。全世界主要果树有3,893个种^[3],其中我国果树有59科158属670余种,其中起源于中国的果树有52种,是果树植物的起源中心^[8]。果树作物主要以异花授粉为主,且有一定数量的多倍体物种,种质遗传背景复杂。种子多为杂种,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,难以产生具有稳定遗传特性的种子,因此多数果树不能通过种子保存方式来维持其种质基因型的稳定性。马铃薯、甘薯、木薯、香蕉、菠萝、甘蔗、山药、芋头等作物,一般不能产生种子或只能产生少量种子,有的种子繁殖后代发生分离,但它们的植株营养体具有再生繁殖的能力,如植株的根、茎、芽、叶等营养器官,以及块根、球茎、鳞茎、匍匐茎、地下茎等变态器官。这类作物利用其营养体的再生能力,采取分根、扦插、压条、嫁接等方法繁殖后代,即营养体繁殖(Vegetative propagation)。基于细胞全能性原理,通过营养体繁殖方式产生的后代个体,包含整套与母本相同的遗传信息。因此,对于栽培类型的无性繁殖作物,传统上主要是采用种质圃植株种植方式来进行种质资源的保存。

1.2 顽拗性种子作物

可可、橡胶等热带特种作物,芒果、榴莲等热带果树,菱、茭白(菰)、芡实、莼菜等水生蔬菜属于顽拗性种子作物。通常它们的种子所含水分相对较高且脱水敏感,易产生脱水损伤。在自然条件下,顽拗性种子寿命往往只有几天或几周,即使在人工控制条件下,种子的贮藏寿命也仅能维持1~2年。因此,这类作物栽培类型的种质资源保存主要也是靠植株种植方式,但其维持延续方式却相当不同。对于木本植物,其种质资源延续主要靠植株的长久存活,但作物间繁殖方式存在差异,例如椰子、棕榈等作物主要依靠种子繁殖,芒果、榴莲等则主要采用嫁接等营养体繁殖。茭白是多年生草本植物,主要是通过对其根茎部分进行分株繁殖。而菱属一年生水生草本植物,每年需采收菱角果实并在水中贮藏,等第二年再取出播种种植,可见像菱这种一年生作物的种质资源,维持其种质资源延续是相当不容易的。

1.3 多年生野生近缘植物

多年生野生植物是生长期在两年以上的植物,

包括木本植物和草本植物。在作物方面主要指多年生草本野生植物,如野生稻、小麦野生近缘植物、多年生牧草等。这类野生近缘种较难结实且种子易脱落,较难收获到足够量种子以供保存,则需采用种质圃方式进行保存。利用这类作物的植株可多年生长存活特性,一方面不必每年进行繁殖,可节省频繁繁种工作。另一方面,当多年生植物进入开花和结果期,它们就处于一个随时可利用状态,可以持续被用于鉴定评价,或用于育种杂交。如多年生牧草一般第一年处于营养生长,第二年开始开花、结果,第三年到第四年处于生长、开花和结果旺盛阶段,第五年到第六年长势开始衰弱,开花结果也明显减少,则第六年需考虑更新。因此,这类资源常以植株方式,收集保存在种质圃中,既能保持其遗传特性又能便于提供利用。

2 种质圃植株安全保存的影响因素

种质圃保存的作物或物种,其共同特点是该类种质资源无法采用种子保存方式,或者说植株保存(无性系保存)是这类作物种质资源的最佳保存途径。但由于种质圃的植株保存需占用土地,种植管理费工、费力、成本高,保存能力相对有限。因此,种质圃重点保存对象是古老的名特优地方品种、濒临灭绝的农家种、重要育成品种、稀有特异材料及其野生资源等,其保存目标:一是最大限度延长植株寿命,在植株衰老死亡之前得到更新,以确保种质资源多样性能世代延续。二是种质资源在保存和繁殖更新过程中,其遗传特性能稳定并完整传递给子代,以便可持续利用其优异或特异目标性状。

2.1 延长植株寿命的影响因素

植株的寿命是有限的,其长短由遗传和生长环境等因素决定。种质圃保存植株的生长发育周期可分为三个阶段:定植成活的幼苗期,生长健壮期,和长势衰退死亡期。一般规律若植株长势进入衰退死亡期,植株有可能很快就死亡。植株在衰老死亡之前不进行繁殖更新或复壮,或植物本身丧失自我繁殖能力,则可能死亡消失。因此,对于种质圃资源保存来说,核心是尽可能延长植物生长健壮期的年限,并建立植株长势从健壮期转入衰亡期的衰老拐点监测生理指标,以供监测预警风险管理,避免保存资源因缺乏预警管理而遭受损失。

生长环境因素,如自然灾害、病虫害、人类(动物)活动破坏以及生长发育环境不适宜或选址不当等威胁着圃存植株的生存和繁衍。例如,国家种质

桃葡萄圃(郑州),1993年的早霜造成200多份葡萄资源地上部全部冻死,2009年冻害致使1,200份葡萄资源60%地上部冻死^[3]。病虫害威胁种质圃资源的安全也时有发生^[9],例如1984年柑橘溃疡病菌的一个新菌系侵袭了美国佛罗里达州的柑橘苗圃,使300万株柑橘苗遭受损失,约占该州柑橘苗圃种苗的1/5^[4]。由于栎树猝死病菌的广泛传播和侵害,2008年美国科瓦利斯国家种质圃(位于俄勒冈州)的越橘属种质,均已无法在野外环境条件下安全保存^[10]。国际上广泛传播的香蕉束顶病毒、黑条叶斑病菌、枯萎病菌和香蕉扁黑象甲等病虫害,给香蕉种质资源安全保存造成了巨大影响^[11]。

2.2 植株种质遗传稳定性的影响因素

维持种质的遗传稳定性,防止发生遗传变异,以便优异目标性状能够被利用,这是资源保存最核心的目标之一。种质圃保存资源都是从原先生长发育环境移植到另一个适宜环境种植的,保存资源有时会出现性状的遗传变异,主要由生态适应性和繁育系统因素导致的。

一是生态适应性。生态适应性是植物在长期自然选择过程中形成的。不同种类的植物长期生活在相同环境条件下,会形成相同生活习性;而同一种类植物如长期生活在不同条件下,会形成不同的生态型。例如,许多温带果树在自然情况下必须经过一定时间的低温环境条件,即满足冷温需求量(需冷量)才能萌芽。果树需冷量具有遗传性,同一树种、品种在年际间存在差异,不同纬度地区之间差异更大。这可能是由于环境因子调控相关基因的表达程度,影响树体内部的生理代谢,进而改变植物体本身的生物学特性,进一步干扰了对种质资源的准确鉴定和评价。因此,种质圃保存资源可广泛多样,但精准鉴定评价的对象仅适合于来源于该圃所在生态区域或生态习性近似的种质资源。

二是繁育系统。繁育系统是指直接影响植物后代遗传组成的所有有性特征^[12]。种质圃的环境与其原始的自然生境有很大差异,则它们的自然演化过程被中断,丧失了它们在长期演化过程中所形成的繁殖和自我防卫两大能力。因此,对于多年生野生近缘种质圃、热带顽拗性种子作物种质圃,需关注繁育系统对种质资源遗传稳定性影响。在野生资源(尤其濒危野生近缘植物)进行取样异位保护或繁育时,需要根据其交配系统来制定取样和繁育策略^[13-14]。在国内许多种质圃保存的野生资源的植株数量非常有限,仅是小居群,则近交便成了不

可避免的问题,近交群体中由于遗传漂变积累的影响,群体间遗传分化和群体内遗传一致性增强,而遗传一致性大的居群对可变环境的适应能力差。同时由于近交种的种群间存在较多的遗传差异,因此取样时必须尽可能在不同的种群内采种育苗;相反,异交种的遗传变异大部分集中在种群内,需要对种群内尽可能多的个体进行采种育苗。采集的野生资源在种质圃种植繁育时,常出现不开花或开花不结籽的情况,除了生态不适应外,缺乏有效的传粉机制、自交率过高等因素也可能在其中起了重要作用。野生种与栽培种间的基因流也是造成保存资源遗传稳定性改变的一个重要因素^[15-16]。因此在种质圃保存野生资源时,首先要了解清楚野生近缘植物的繁育系统,才能确保这类资源得到妥善保护和有效利用。

3 种质圃种质资源安全保存的策略

在《职业健康安全管理体系规范》的国家标准(GB/T 28001-2019)^[17]中,对“安全”给出的定义是“免除了不可接受的损害风险的状态”。国际民航

组织对“安全”的定义:安全是一种状态,即通过持续的危险识别和风险管理过程,将人员伤害或财产损失的风险降低并保持在可接受的水平或其以下。对于种质资源安全保存,有三层含义^[18-19]:一是基于生物学机制的安全保存。在维持种质遗传完整性前提下,种质寿命尽可能延长并能得到及时繁殖更新,即不能出现自然死亡以确保种质资源能世代延续;二是复份安全保存,即通过采取不同保存方式或从物理空间距离上来复份保存种质资源,以避免自然灾害、严重的病虫害等,如水灾、火灾、地震等不可抗力原因造成保存资源的意外丧失;三是在国家(区域)层面,实现资源的整体安全保存,即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,最大限度实现对全体作物基因源的整体保护,以供持续利用。

作为作物种质资源整体保护的重要组织部分,以多样性、完整性、安全性保护为核心的圃存作物种质资源安全保存策略已初步形成(图1),在技术层面上主要包括:建设良好的保存设施条件,建立规范化的保存技术和实施资源复份保存。

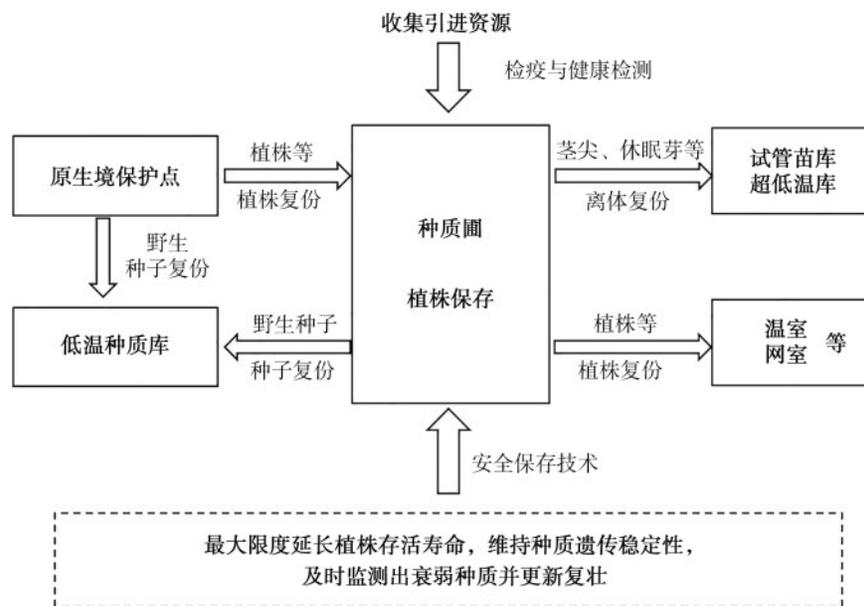


图1 种质圃作物种质资源安全保存策略示意图

Fig.1 Schematic diagram of safe conservation strategy of crop germplasm resources in field genebank

3.1 建设良好的保存设施条件

保存设施是实现种质资源集中妥善安全保存的前提,国内外已制定了种质圃良好设施条件的规范建设要求^[20-21]:一是建设地址要位于该作物物种遗传多样性较为丰富,且最适宜其生长发育的生态地区,以利于持久维持种质群体遗传特性的稳定,也有利于种质群体在一个世代周期中达到最大存

活寿命,从而减少繁殖更新次数。二是建设地点需避开自然灾害和环境污染的潜在危害,即不宜选择地震、山体滑坡、洪水、风害等具有潜在危害地方作为建设地点。此外,受污染的生态环境常致使植物无法正常生长和繁育^[22],则建设地点需避开工矿企业排出的废烟、废气、废水、废渣等污染,圃址周围3 km范围内应无重大污染源。三是要避开潜在的

病虫害危害。种质圃不宜建在拟保存作物病虫害的疫区,同时种质圃附近也严禁种植与该作物具有同一病原菌的其他作物,以最大限度避开病虫害的危害。另外,应建设隔离检疫设施,以便对新引入或新收集资源进行隔离检疫,避免新引入或新收集资源在种质圃传播病虫害。四是种质圃需建围栏、监控、防火等防护设施,配备安保人员,以最大限度避免动物损害、人为偷窃和破坏,以及火灾等危害。五是种质圃也应建设供电系统、排灌系统、水肥一体化设施和物联网工作系统等配套设施,为最大限度延长植株存活寿命提供必要的条件。六是除田间种植保存设施外,需依据拟保存作物(物种)资源多样性和完整性的需求,同步建设或扩建温室、离体库、低温库、隔离保存网室等互补保存设施,一方面增强特殊资源抵抗自然灾害的能力,另一方面为珍稀濒危、优异资源等重要资源提供复份保存条件,为最大限度保护好资源多样性、完整性和安全性提供设施保障。

3.2 建立规范化的保存技术

联合国粮食及农业组织(FAO, the Food and Agriculture Organization of the United Nations)于2014年重新修订《基因库标准》^[23],首次补充了“种质圃标准”的内容,从种质的获得、入圃定植保存、田间种植管理、更新与扩繁、鉴定、评价、数据信息、分发、安全性与复份保存等方面,提出总的、原则性的技术标准,强调要依据各作物特异性,制定各作物的种质圃种质资源保存技术标准。Maghradze等^[24]根据FAO“种质圃标准”,制定了“葡萄种质圃标准”,以供欧盟国家的葡萄种质资源保存应用。“农作物种质资源圃保存技术规程”是国内较早制定种质圃资源保存技术规范^[20],此后制定了种质圃种质资源繁殖更新技术规程^[25]和一些特定作物的种质圃保存技术规程,例如牧草^[21]。规范化的保存技术主要包括:一是规范了种质圃资源种植保存的安全性技术措施要求,包括资源入圃定植技术措施(含植株数量等)、极端灾害抵御措施、资源病虫害检疫与防护措施、突发灾害事件的应急措施等;二是规范了延长种质存活寿命和维持种质遗传稳定性的技术要求,包括获得最佳原始种苗,植株长势与病害监测,种植管理等,以及通过改变栽培方式,如采用盆栽等技术,可以有效控制桃、木薯生长速度^[26-27]。通过健康检测和脱病毒等手段,获得高质量、且未携带有致病性的种传病原菌的最佳原始种苗。通过对果树资源采用抗重茬、抗逆性砧木,以

提高其抗性,以及通过田间水肥等管理技术要求,以最大限度延长种质存活寿命,维持种质遗传稳定性,减少更新复壮频次,节约成本;通过植株长势、病虫害等动态监测,能及时监测预测出需更新复壮的种质,以确保种质圃保存资源的世代延续和持续提供利用^[1,19,28]。

3.3 实施复份保存

种质圃是属于野外田间保存设施,易遭受水灾、火灾、地震、病虫害等不可抗力灾害,而导致资源毁灭性损失,故应实施资源的复份保存。主要方式有两种,一是植株复份保存,即将一份资源保存于不同地区的种质圃,该方式缺点是需耗费大量的土地和人力、物力,维护成本高,且都是野外田间保存,难于完全消除自然灾害等威胁。另外有些资源由于生态适应性问题,也很难通过不同种质圃之间进行复份保存。二是离体种质复份保存。随着试管苗和超低温保存技术发展,离体保存已成为圃位资源复份保存的重要途径。例如,马铃薯、甘薯、香蕉等作物以茎尖为保存载体,实现了试管苗离体中期保存和超低温离体长期复份保存^[29-31];苹果、桑树、梨等果树作物,以茎尖或休眠芽等为保存载体,桃、柑橘等以花粉为保存载体,实现了资源的离体超低温长期复份保存^[32-36]。三是温室等方式复份保存。在种质圃建设配套的温室、大棚或网室,对部分珍贵特异资源进行收集保存或复份保存。此外,对于野生物种资源,也通过建设原生境保护点进行植株原位保存,同时也有通过采收种子存放到低温库进行种子复份保存。

因此,经过40多年来的发展,已逐步形成了以种质圃植株保存为主,集种质圃植株保存、离体库种质保存、温室特殊资源保存、原生境保护点野生居群保存、低温库野生种子保存等为一体的整体保护体系,最大限度实现对种质圃作物种质资源多样性和完整性的安全保存。

4 国内外实践与发展现状

4.1 国外现状

国际上对无性繁殖等作物种质资源的收集保存是非常重视。在国际农业磋商组织(CGIAR, Consultative Group on International Agricultural Research)的11个涉农研究机构中,其中有9个研究机构从事对无性繁殖作物种质资源的收集保存。至2020年底,CGIAR的9个研究机构保存的无性繁殖作物种质资源26,667份,其中植株保存10,756份,

试管苗和超低温保存 15,911 份(表 1)(<https://www.genebanks.org/>)。在国际马铃薯中心(CIP, International Potato Center),其资源主要保存策略:对大多数栽培类型的资源,通常是采用试管苗离体保存以随时提供利用,必要时也采用块根、块茎田间种植保存,同时采用超低温离体复份长期保存,马铃薯和甘薯超低温离体分别保存 4,017 份和 297 份,复份保存比例为 83% 和 6%;对于野生资源,主要采用种质圃植株保存,同时收集实生种子保存于低温库中^[31]。CIP 建立了较为完整的保存设施体系,收集保存资源数量和共享利用均得到显著提升。2000 年以来,CIP 累计向全球 100 多个国家的育种、科研和教学等单位提供马铃薯和甘薯种质资源分别为 47,900 和 15,700 份次,对全球的薯类作物的可持续发展起到了重要的支撑作用(<https://cipotato.org/genebankcip/>)。美国 1980 年在俄勒冈州建立了世界上首个国家级种质圃,专门用于保存果树类种质资源,之后又在各主要农业生态区建立了 8 个综

合性果树种质圃,即由每个生态区的果树种质圃负责该区域所有果树作物种质资源的收集保存,同时每个种质圃也建立离体保存或温室保存等方式,备份保存珍贵资源的脱毒苗或核心种质,并在其全美遗传资源保存国家实验室(National Laboratory for Genetic Resources Preservation)建立了超低温库,负责种质圃珍贵资源的离体种质长期备份保存。至 2017 年,美国国家植物种质体系的种质圃收集保存资源 41,500 份,其中有 13% 资源已进行超低温复份保存,有 31,070 份(来自 4,425 个物种)经鉴定评价后提供给育种与科学研究者利用,对美国果树育种起到重要支撑^[33]。FAO 和 Bioversity 及其前身 IBPGR 相继出版了有关种质圃种质资源保存技术与标准的手册^[1,21,29],对确保种质圃种质资源安全保存和持续提供利用起到了重要的指导作用。同时,国际上十分重视种质圃保存作物的遗传多样性研究,以明确种质圃需要重点保存的遗传资源^[37-43]。

表 1 国际农业磋商组织下属 9 个研究机构的无性繁殖作物种质资源保存情况(截止 2020 年 12 月)

Table 1 The conversation of vegetatively propagated crops germplasm resources in 9 research institutes of Consultative Group on International Agricultural Research as of 2020.12

研究机构名称 Name of research institute	作物 Crop	植株保存份数 Number of live plant accessions	超低温和试管苗保存份数 Number of cryopreservation or <i>in vitro</i> accessions
国际生物多样性中心 Bioversity	香蕉	0	1,053
国际热带农业中心 The International Center for Tropical Agriculture	木薯	0	935
国际玉米和小麦改良中心 International Maize and Wheat Improvement Center	牧草	526	0
国际马铃薯中心 International Potato Center	玉米	161	0
	马铃薯	31	4,746
	甘薯	0	4,433
	安第斯山块根和块茎	0	962
国际农林业研究中心 World Agroforestry	果树	8,246	0
国际半干旱热带作物研究所 International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics	花生	77	0
	粟	141	0
	高粱	48	0
国际热带农业研究所 International Institute of Tropical Agriculture	香蕉	0	118
	木薯	0	1,588
	芋头	0	2,076
国际畜牧研究所 International Livestock Research Institute	牧草	1,524	0
国际水稻研究所 International Rice Research Institute	水稻	2	0
合计 Total		10,756	15,911

4.2 国内现状

随着国家作物种质库新库的试管苗和超低温保存设施的投入使用,我国初步建成了以种质圃为主,集种质圃、试管苗库、超低温库、原生境保护点、

植株保存温室为一体的整体保护设施体系,为实现我国种质圃作物种质资源多样性、完整性、安全性的保存和持续利用奠定了可靠保障。

种质圃植株保存至今仍是圃位作物种质资源

最为重要的保存方式,是保存无性繁殖作物的核心方式。至2021年12月,我国共建设了国家级作物种质圃43个(表2),基本实现了对我国主要圃存作物种质资源的收集保存,包括果树种质圃21个,野生稻种质圃2个,小麦野生近缘植物圃1个,水生及多年生蔬菜2个,野生棉圃1个,野生花生圃1个,茶树圃2个,桑树圃1个,甘蔗圃1个,甘薯圃和试管苗库各1个,马铃薯试管苗库1个、木薯圃1个,多年生牧草圃2个,热带特种及经济作物圃3个,苧麻圃1个,红萍圃1个。43个国家种质圃共收集保存资源69,504份,隶属于1,469个物种(含亚种),是世界上圃存资源保存数量最多的国家,其中野生资源和地方品种是收集保存的重点,分别占到45%和26%,育成品种19%,优良品系及其他占10%。对于野生

资源,尤为重视处于濒危状况的珍稀特异物种资源的收集保存,例如,我国的普通野生稻、疣粒野生稻和药用野生稻生态环境退化严重,均被列入《国家重点保护植物名录》。针对这种情况,在南宁、广州分别建立了国家野生稻种质圃进行野生稻物种资源收集保存,目前海南省三亚野生稻种质圃正在建设中。又如新疆野苹果,受小吉丁虫蔓延的危害而大面积死亡,处于濒危状况。农业农村部于2012年在新疆伊犁建立了野苹果种质圃,专门收集新疆野苹果资源进行圃位保存。在地方品种中,原产于我国的名特优地方品种、古老农家种也是收集保存重点。例如郑州桃圃收集保存的古老名特优地方品种上海水蜜桃,作为亲本已培育出数千个品种,估计95%以上的桃栽培品种均含有上海水蜜桃血缘^[44]。

表2 我国43个国家级作物种质资源圃种质资源保存情况(截止2021年12月)

Table 2 The conversation of germplasm resources in 43 national field genebanks in China as of 2021.12

序号 Number	种质圃名称 Name of field genebank	作物 Crop	种质份数 Number of accessions	物种数(含亚种) Number of species (including subspecies)
1	国家桃草莓种质资源圃(北京)	桃	473	6
		草莓	379	11
2	国家枣葡萄种质资源圃(太谷)	枣	891	2
		葡萄	716	14
3	国家梨苹果种质资源圃(兴城)	梨	1,318	14
		苹果	1,324	24
4	国家山楂种质资源圃(沈阳)	山楂	403	19
		榛	162	4
5	国家李杏种质资源圃(鲅鱼圈)	杏	905	10
		李	763	10
6	国家寒地果树种质资源圃(公主岭)	苹果	507	12
		梨	249	4
		李等其他12种作物	739	79
7	国家山葡萄种质资源圃(吉林)	山葡萄	430	4
8	国家马铃薯种质资源试管苗库(克山)	马铃薯	2,321	2
9	国家甘薯种质资源试管苗库(徐州)	甘薯	1,301	16
10	国家桑树种质资源圃(镇江)	桑树	2,519	16
11	国家桃草莓种质资源圃(南京)	桃	724	6
		草莓	426	20
12	国家果梅杨梅种质资源圃(南京)	果梅	290	1
		杨梅	215	1
13	国家茶树种质资源圃(杭州)	茶树	2359	7
14	国家龙眼批把种质资源圃(福州)	龙眼	383	2
		枇杷	689	15
15	国家红萍种质资源圃(福州)	红萍	597	6
16	国家核桃板栗种质资源圃(泰安)	核桃	485	10
		板栗	425	8
17	国家葡萄桃种质资源圃(郑州)	桃	1,055	7
		葡萄	1,421	28

表 2 (续)

序号 Number	种质圃名称 Name of field genebank	作物 Crop	种质份数 Number of accessions	物种数(含亚种) Number of species (including subspecies)
18	国家水生蔬菜种质资源圃(武汉)	莲	674	2
		芋	540	6
		茭白等其他 10 种作物	1,055	28
19	国家猕猴桃种质资源圃(武汉)	猕猴桃	1,386	63
		三叶木通	140	2
		泡泡果	32	1
20	国家野生花生种质资源圃(武汉)	野生花生	266	36
21	国家砂梨种质资源圃(武汉)	梨	1,280	8
22	国家麻类作物种质资源圃(沅江)	苧麻	2,066	19(8)
23	国家野生稻种质资源圃(广州)	野生稻	5,188	20
24	国家荔枝香蕉种质资源圃(广州)	荔枝	348	1
		香蕉	358	9
25	国家甘薯种质资源圃(广州)	甘薯	1,400	1
26	国家野生稻种质资源圃(南宁)	野生稻	5,522	16
27	国家柑橘种质资源圃(重庆)	柑橘	1,821	80
28	国家云南特有果树及砧木种质资源圃 (昆明)	猕猴桃	272	40
		梨	224	7
		苹果等其他 38 种作物	939	138
29	国家甘蔗种质资源圃(开远)	甘蔗	3,559	16
30	国家大叶茶树种质资源圃(勐海)	茶树	1,810	7
31	国家柿种质资源圃(杨凌)	柿	882	9
32	国家新疆特有果树种质资源圃(轮台)	杏	242	2
		苹果	217	5
		梨等其他 9 种作物	453	19
33	国家野生苹果种质资源圃(伊犁)	野生苹果	248	1
34	国家野生棉种质资源圃(三亚)	野生棉	810	43
35	国家橡胶种质资源圃(儋州)	橡胶树	6,190	6
36	国家木薯种质资源圃(儋州)	木薯	811	2
37	国家热带饲草种质资源圃(儋州)	热带牧草	566	64
38	国家热带棕榈种质资源圃(文昌)	油棕	86	2
		椰子	214	1
		槟榔	113	1
39	国家热带香料饮料作物种质资源圃 (万宁)	胡椒	56	25
		咖啡	117	4
		香草兰	24	4
		可可	107	4
40	国家热带果树种质资源圃(湛江)	芒果	262	3
		香蕉	178	2
		菠萝等其他 13 种作物	867	20
41	国家多年生小麦野生近缘植物种质 资源圃(廊坊)	小麦野生近缘植物	1,757	202
42	国家多年生及无性繁殖蔬菜种质 资源圃(北京)	无性繁殖蔬菜	1,290	102
43	国家多年生饲草种质资源圃 (呼和浩特)	牧草	670	112
合计 Total			69,504	1,469

离体库种质保存已成为马铃薯、甘薯等作物资源不可或缺的保存方式。早在20世纪80年代,在黑龙江克山和江苏徐州建立试管苗库,作为主要保存方式承担着马铃薯和甘薯种质资源的保存。至2021年12月,黑龙江克山马铃薯试管苗库保存资源2,321份,江苏徐州甘薯试管苗库保存资源1,301份种质。国家库的试管苗库保存国外引进和新考察收集的山药、姜等40种作物438份种质资源,超低温库保存濒危或受威胁的物种资源595份。随着国家作物种质库新库超低温库和试管苗库保存设施的建成应用,珍稀濒危物种资源离体种质抢救性保存和无性繁殖重要作物种质资源的离体种质长期备份保存将进入规模化阶段。

温室植株保存等也逐步成为特殊资源重要的互补保存方式。许多种质圃也配备了温室、大棚等配套设施,对部分珍贵资源进行温室植株复份保存,以提升圃存特异资源的安全性。例如福州龙眼枇杷种质圃、武汉水生蔬菜种质圃都建有温室,在秋季将部分植株移入温室或大棚内越冬,以避免来自热带的种质资源受到寒冷气候条件的危害。南京桃、草莓圃建设玻璃温室,草莓资源采用室内盆栽保存,有效克服了匍匐茎攀爬造成的“串种”问题,并方便更换基质,保持植株健壮,解决了草莓野生资源越冬和越夏难的问题。野生稻、小麦近缘植物、多年生牧草等野生近缘植物种质资源,既有建设种质圃进行植株保存,同时也采集种子存放至长期库和中期库保存。桃、苹果、梨、葡萄、草莓等作物,进行圃与圃之间部分种质资源的复份保存^[19,44-45],一方面每个圃保存其特有的生态类型果树资源,同时也对部分珍贵果树资源进行了复份保存。此外,通过建设原生境保护点,就地对圃存作物的野生种及其近缘种实施居群保护。至2021年底,我国建设原生境保护点214个。

因此,以国家种质圃为核心的国家圃存作物种质资源整体保护设施体系的建立,使散落在民间的古老地方品种、生产上淘汰品种,以及原生境野生资源得以收集入圃妥善保存,避免了这些珍贵资源的消失绝种,为我国果树等作物的育种及其原始科技创新提供了雄厚的物质基础。据2018年调查统计,种质圃保存资源中,被提供利用过的种质资源所占比例达到56%。因此,种质圃保存的种质资源对果树等作物的产业发展起到了重要支撑作用^[3,46-48]。

5 发展建议

5.1 加强保存设施规划与建设,为资源保存提供设施保障

为实现作物种质资源“应收尽收,应保尽保”的目标,需进一步加强国家和省级种质资源库圃的规划与建设。一是统筹考虑国家整体保护设施整体布局,完善种质圃布局和功能职责。在尚未建设种质圃的多样性富集地区(省份)规划建设种质圃,并按国际上建圃原则将现有种质圃扩建为综合性种质圃,以保存生态区域内种质资源为目标规划建设种质圃。对已经设立的国家种质圃的生态区位、圃地容量、种质资源安全性等进行重新评估,对存在安全隐患、容量不足的国家种质圃进行移位或改扩建。在功能职责上,国家种质圃应定位于既是资源战略长期保存的设施,也应是保存作物的田间鉴定评价、种质创新、优异种质展示与共享利用的条件平台。此外,国家种质圃也应考虑作为圃存作物品种标准样品(活体植株)的保存设施。二是进一步提升种质圃保存设施的条件水平,以满足新形势下种质资源保护和利用的发展需求。种质圃除建设传统田间保存设施外,还应依据保存作物物种的需求,建设室内植株保存圃(如温室)、离体种质保存库、野生种子低温保存库、健康与检疫等设施,为资源多样性、完整性和安全性提供设施保障。在此基础上,还应配套建设室内和田间的种质资源鉴定评价、种质创新与优异种质展示设施,为种质圃成为名副其实的种业发展源头提供设施条件保障。

5.2 加强资源入库圃保存技术研究,促进珍稀濒危资源的入库圃保存

美国国家种质圃保存的4.15万份资源,涉及物种4,425个^[33],而我国43个种质圃保存的6.95万份资源中,涉及物种数仅1,469个,而且我国仍有许多珍稀特异资源尚未入库圃保存,其重要原因之一是缺乏珍稀濒危、古老农家品种和野生种等特异资源入库圃保存技术,致使许多珍稀特异资源仍散落野外,或收集引进后又重新丧失。保护这些珍稀资源具有很高的经济、生态和社会价值,是当今作物种质资源保护的焦点。因此,随着国家作物种质库新库的试管苗库和超低温库的投入使用,国家应适时启动珍稀特异资源抢救保存的国家计划:一是开展珍稀特异资源入圃保存技术研究,发展微嫁接和抗重茬且抗逆性强的矮化密植植株等技术,提供特异资源的成活率和存活寿命;二是研究覆盖块根(茎)、

茎尖、休眠芽、胚等各类种质载体的入离体库保存技术,破解濒危或低活力(临亡)珍贵、特异、古老地方种质缺乏入库技术的难题,攻克高存活、遗传稳定、广适性等超低温保存技术瓶颈。三是研究建立珍稀资源抢救入超低温或种质圃的技术体系,实现对我国重要珍稀特异濒危及其无性繁殖、顽拗性种子等作物离体种质长期战略保存。

参考文献

- [1] Saad M S, Rao V R. Establishment and management of field genebank, a training manual. Serdang: IPGRI-APO, 2001: 59-63
- [2] Postman J, Oliphant J, Hummer K. Diseases impact management of USDA clonal Vaccinium genebank. *Acta Horticulturae*, 2008, 810: 319-324
- [3] 王力荣. 我国果树种质资源科技基础性工作30年回顾与发展建议. *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
- [4] Sun M. The mystery of Florida's citrus canker. *Science*, 1984, 226: 322-323
- [5] 许英, 陈建华, 栾明宝, 王晓飞, 孙志民. 苧麻种质资源保存技术研究进展. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(2): 184-189
Xu Y, Chen J H, Luan M B, Wang X F, Sun Z M. Research progress on conservation techniques for ramie germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(2): 184-189
- [6] 杨勇, 赵红星, 李高潮, 阮小凤, 王仁梓. 柿种质资源田间耐寒性调查分析. *北方园艺*, 2010(1): 63-65
Yang Y, Zhao H X, Li G C, Ruan X F, Wang R Z. Field investigation of cold tolerance in persimmon (*Diospyros* L.) germplasm. *Northern Horticulture*, 2010(1): 63-65
- [7] 张雄坚, 房伯平, 陈景益, 安康. 甘薯资源温室盆栽保存探讨. *广东农业科学*, 2002(3): 11-14
Zhang X J, Fang B P, Chen J Y, An K. Study on the pot culturing for preservation of sweet tomato resources in greenhouse. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2002(3): 11-14
- [8] 贾敬贤, 贾定贤, 任庆棉. 中国作物及其野生近缘植物—果树卷. 北京: 中国农业出版社, 2006: 30-39
Jia J X, Jia D X, Ren Q M. Crops and their wild relatives in China-vol. fruit tree. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 30-39
- [9] Hummer K E, Postman J D, Preece J E. Managing nut genetic resources under disease threat. *Acta Horticulturae*, 2015 (1070): 193-200
- [10] Postman J, Hummer K, Stover E, Krueger R, Forsline P, Grauke L J, Zee F, Ayala-silva T, Irish B. Fruit and nut genebanks in the US National Plant Germplasm System. *Hortscience*, 2006, 41(5): 1188-1194
- [11] Rosales F E, Belalcázar C S, Pocasangre L E. Global conservation strategy for musa (banana and plantain). Rome: Bioversity International, 2006
- [12] Wyatt R. Pollinator-plant interactions and the evolution of breeding systems//Real L. *Pollination biology*. Orlando: Academy Press, 1983: 51-95
- [13] 王洪新, 胡志昂. 植物的繁育系统、遗传结构和遗传多样性保护. *生物多样性*, 1996, 4(2): 92-96
Wang H X, Hu Z A. Plant breeding system, genetic structure and conservation of genetic diversity. *Biodiversity Science*, 1996, 4(2): 92-96
- [14] 王崇云. 植物交配系统与遗传资源的保护和持续利用. *云南大学学报: 自然科学版*, 1997(S1): 93-96
Wang C Y. Plant mating systems and conservation and sustainable use of genetic resources. *Journal of Yunnan University: Natural Science Edition*, 1997(S1): 93-96
- [15] Yang H, Wei C L, Liu H W, Wu J L, Li Z G, Zhang L, Jian J B, Li Y Y, Tai Y L, Zhang J, Zhang Z Z, Jiang C J, Xia T, Wan X C. Genetic divergence between *Camellia sinensis* and its wild relatives revealed via genome-wide SNPs from RAD sequencing. *PLoS ONE*, 2016, 11(3): e0151424
- [16] Feurtey A, Cornille A, Shykoff J A, Snirc A, Giraud T. Crop-to-wild gene flow and its fitness consequences for a wild fruit tree: Towards a comprehensive conservation strategy of the wild apple in Europe. *Evolutionary Applications*, 2017, 10: 180-188
- [17] 陈元桥, 陈全, 刘卓慧, 李强, 白殿一, 吴晶, 王凤泰, 姜铁白. GB-T28001-2019, 职业健康安全管理体系-规范. 北京: 中国标准出版社, 2020
Chen Y Q, Chen Q, Liu Z H, Li Q, Bai D Y, Wu J, Wang F T, Jiang T B. GB/T28001-2019, Occupational health and safety management system—specification. Beijing: Standards Press of China, 2020
- [18] 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: 195-228
Lu X X, Xin X, Liu X. The principle and technology of safe conservation of crop germplasm resources. Beijing: Science Press, 2019: 195-228
- [19] 辛霞, 尹广鹏, 张金梅, 陈晓玲, 何娟娟, 刘运霞, 黄雪琦, 卢新雄. 作物种质资源整体保护策略与实践. *植物遗传资源学报* 2022, 23(3): 636-643
Xin X, Yin G K, Zhang J M, Chen X L, He J J, Liu Y X, Huang X Q, Lu X X. Strategies and practices of the integrated conservation system for crop germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(3): 636-643
- [20] 卢新雄, 陈叔平, 刘旭. 农作物种质资源保存技术规程. 北京: 中国农业出版社, 2008: 28-39
Lu X X, Chen S P, Liu X. Technical regulation on conservation for crop germplasm resources. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 28-39
- [21] 师文贵, 李志勇, 卢新雄, 李鸿雁, 刘磊. 国家多年生牧草种质圃资源保存规程. *中国草地学报*, 2009, 31(6): 109-112

- Shi W G, Li Z Y, Lu X X, Li H Y, Liu L. Regulations of conservation of resources in national perennial forage germplasm nursery. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(6): 109-112
- [22] 孙玉芳, 雷波, 张宏斌, 卢琳琳, 李焱奎, 赵欣. 我国农业野生植物资源原生境保护区建设现状、问题及未来的思考. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(6): 224-228
- Sun Y F, Lei B, Zhang H B, Lu L L, Li Y K, Zhao X. *In-situ* conservation site of agricultural wild plants in China discussion on present situation and the way-out. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(6): 224-228
- [23] FAO. Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO, 2014: 65-114
- [24] Maghradze D, Maletic E, Maul E, Faltus M, Faillas O. Field genebank standards for grapevines (*Vitis vinifera* L.). *Vitis: Journal of Grapevine Research*, 2015, 54: 273-279
- [25] 王述民, 卢新雄, 李立会. 作物种质资源繁殖更新技术规程. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014
- Wang S M, Lu X X, Li L H. The technical regulation on regeneration of crop germplasm resources. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2014
- [26] 白晓燕, 王力荣, 朱更瑞, 王新卫, 曹珩, 方伟超, 陈昌文, 李勇. 桃砧木半硬枝扦插繁殖影响因子的研究. *中国果树*, 2014(5): 36-39
- Bai X Y, Wang L R, Zhu G R, Wang X W, Cao K, Fang W C, Chen C W, Li Y. Study on influencing factors of semi-hard branch cutting propagation of peach rootstock. *China Fruit*, 2014(5): 36-39
- [27] 李勇, 方伟超, 朱更瑞, 王力荣, 彭福田. 双容器与控根器限根对桃树生长发育的影响. *果树学报*, 2014, 31(2): 213-220
- Li Y, Fang W C, Zhu G R, Wang L R, Peng F T. Effect of rooting-zone restriction with pot-in-pot and root-control device on the growth and development of peach. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(2): 213-220
- [28] Niño D P, Aranzales Rondón E, Erazo J C, López J J, Vélez M. The bonsai as an alternative safety duplication system of the world cassava collection preserved at CIAT. Poster presented at the II Symposium of Neotropical Plant Genetic Resources Valle del Cauca Colombia: National University of Colombia Palmira Headquarters, 2016
- [29] Reed B M, Engelmann F, Dulloo M E, Engels J M M. Technical guidelines for the management of field and *in vitro* germplasm collections. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 2004
- [30] Panis B, Swennen R, Piette B, Van Den Houwe I. Cryopreservation of the banana germplasm collection at the international transit centre-biodiversity international. *Advances in Horticultural Science*, 2007, 21(4): 1000-1004
- [31] Reed B M, Hummer K E. Cryopreservation and maintenance of hop material in the USDA germplasm collection. *Acta Horticulturae*, 2013, 1010: 191-197
- [32] Vollmer R, Villagaray R, Egusquiza V, Espirilla J, Garcia M, Torre A, Rojas E, Panta A, Barkley N A, Ellis D. The potato cryobank at the international potato center (CIP): A model for long term conservation of clonal plant genetic resources collections of the future. *Cryo Letters*, 2016, 37(5): 318-329
- [33] Jenderek M M, Reed B M. Cryopreserved storage of clonal germplasm in the USDA National Plant Germplasm System. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2017, 53(4): 299-308
- [34] Zhang J M, Han L, Lu X X, Volk G M, Xin X, Yin G K, He J J, Wang L, Chen X L. Cryopreservation of *Jerusalem artichoke* cultivars using an improved droplet-vitrification method. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2017a, 128: 577-587
- [35] Zhang J M, Lu X X, Xin X, Yin G K, He J J, Huang B, Jiang D, Chen X L. Cryopreservation of citrus anthers in the National Crop GeneBank of China. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 2017b, 51(4): 445-451
- [36] 张金梅, 闫文君, 李雪, 黄斌, 张海晶, 赵剑波, 姜全, 陈晓玲. 桃花粉低温和超低温保存方法比较研究. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(4): 670-675
- Zhang J M, Yan W J, Li X, Huang B, Zhang H J, Zhao J B, Jiang Q, Chen X L. Study on low temperature storage and cryopreservation of pollen for peach germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(4): 670-675
- [37] Zhang D, Cervantes J, Huamán Z, Carey E, Ghislain M. Assessing genetic diversity of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivars from tropical America using AFLP. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2000, 47(6): 659-665
- [38] Bakoumé C, Wickneswari R, Siju S, Rajanaidu N, Kushairi A, Billotte N. Genetic diversity of the world's largest oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) field genebank accessions using microsatellite markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2014, 62(3): 349-360
- [39] Rodriguez-bonilla L, Cuevas H E, Montero-rojas M, Birdpico F, Luciano-rosario D, Siritunga D. Assessment of genetic diversity of sweet potato in Puerto Rico. *PLoS ONE*, 2014, 9(12): e116184
- [40] Ithnin M, Teh C K, Ratnam W. Genetic diversity of *Elaeis oleifera* (HBK) Cortes populations using cross species SSRs: Implication's for germplasm utilization and conservation. *BMC Genetics*, 2017, 18:37
- [41] Olasupo F O, Adewale D B, Aikpokpodion P O, Muiyiwa A A, Bhattacharjee R, Gutierrez O A, Motamayor J C, Schnell R J, Ebai S, Zhang D. Genetic identity and diversity of *Nigerian cacao* genebank collections verified by single nucleotide polymorphisms (SNPs): A guide to field genebank management and utilization. *Tree Genetics and Genomes*, 2018, 14: 32
- [42] Nandwani D. Genetic diversity in horticultural plants. Cham: Springer, 2019:87-125
- [43] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 中国桃遗传资源. 北京: 中国农业出版社, 2012

- Wang L R, Zhu G R, Fang W C. Peach genetic resource in China. Beijing: China Agriculture Press, 2012
- [44] 任国慧, 吴伟民, 房经贵, 宋长年. 我国葡萄国家级种质资源圃的建设现状. 江西农业学报, 2012, 24(7): 10-13
- Ren G H, Wu W M, Fang J G, Song C N. Construction status of national grape germplasm resource nurseries in China. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, 24(7): 10-13
- [45] 王文辉, 王国平, 田路明, 李秀根, 吕晓兰, 张玉星, 张江红, 曹玉芬. 新中国果树科学研究 70 年—梨. 果树学报, 2019, 36(10): 1273-1282
- Wang W H, Wang G P, Tian L M, Li X G, Lv X L, Zhang Y X, Zhang J H, Cao Y F. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Pear. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(10): 1273-1282
- [46] 邓秀新, 束怀瑞, 郝玉金, 徐强, 韩明玉, 张绍铃, 段常青, 姜全, 易干军, 陈厚彬. 果树学科百年发展回顾. 农学学报, 2018(1): 24-34.
- Deng X X, Shu H R, Hao Y J, Xu Q, Han M Y, Zhang S L, Duan C Q, Jiang Q, Yi G J, Chen H B. Review on the centennial development of pomology in China. *Journal of Agriculture*, 2018(1): 24-34
- [47] 邓秀新, 王力荣, 李绍华, 张绍铃, 张志宏, 丛佩华, 易干军, 陈学森, 陈厚彬, 钟彩虹. 果树育种 40 年回顾与展望. 果树学报, 2019, 36(4): 514-520
- Deng X X, Wang L R, Li S H, Zhang S L, Zhang Z H, Cong P H, Yi G J, Chen X S, Chen H B, Zhong C H. Retrospection and prospect of fruit breeding for last four decades in China. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(4): 514-520
- [48] 王力荣, 吴金龙. 中国果树种质资源研究与新品种选育 70 年. 园艺学报, 2021, 48(4): 749-758
- Wang L R, Wu J L. Review for the research of fruit tree germplasm and breeding of new varieties in the past seven decades in China. *Acta Horticulturae Sinica*, 2021, 48(4): 749-758