果 树 学 报 2025，42（11）：2542-2557
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250003

国家梨苹果种质资源圃（兴城）的梨种质资源收集保存与创新利用进展

田路明，曹玉芬，董星光，张 莹，齐 丹，霍宏亮，徐家玉，刘 超，王立东

（中国农业科学院果树研究所·农业农村部园艺作物种质资源利用重点实验室，辽宁兴城 125100）

摘 要：中国是梨属植物起源中心之一，梨栽培历史悠久，在果树产业中具有重要地位。中国梨种质资源丰富多样，梨种质资源为梨新品种选育和梨产业发展提供了重要物质保障。国家梨苹果种质资源圃（兴城）是最早建立的国家果树种质资源圃之一，收集保存梨种质资源总数已超过1600份，已为中国梨科研、生产与科普示范等提供了大量种质资源，在人才培养、乡村振兴和产业发展中发挥了重要作用。本文介绍了国家梨苹果种质资源圃（兴城）的发展历程和保存现状，围绕梨优异种质资源发掘、表型评价、亲缘关系分析、果实性状评价、抗性评价和基因组研究等方面工作，总结了近20年来梨种质资源圃对外提供利用和本圃科研取得的相关科研进展，回顾了为梨产业发展提供的技术支撑，并对未来的工作重点进行展望，以期为中国梨种质资源的有效利用和梨产业发展提供参考。

关键词：梨；种质资源；收集；保存；创新利用

中图分类号：S661.2　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1009-9980(2025)11-2542-16

Progress of collection, conservation and innovative utilization of pear resources in the National Pear and Apple Germplasm Repository (Xingcheng)

TIAN Luming, CAO Yufen, DONG Xingguang, ZHANG Ying, QI Dan, HUO Hongliang, XU Jiayu, LIU Chao, WANG Lidong

(Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Horticultural Crop Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xingcheng 125100, Liaoning, China)

Abstract: Pear belongs to the Rosaceae family, Pomaceae subfamily, *Pyrus* genus, and is cultivated all over the world. China has a long history of pear cultivation. It is generally believed that *Pyrus* originated in the mountainous areas of western or southwestern China during the Tertiary period, evolving and developing from east to west. The *Pyrus* plants are mainly distributed in Europe, North Africa, Asia Minor, Iran, Central Asia, China, Korea and Japan. In terms of geographical boundaries, the *Pyrus* plants distributing to the east of Tianshan and Xingdu Kush Mountains are called Oriental pears, while those to the west are called Occident pears. With the change of geographical environment, *Pyrus* plants gradually evolved into two major pear families and formed three secondary centers: China center, Central Asia center and Near East center. The scientific classification of *Pyrus* germplasm is of great significance for the collection, preservation, identification, evaluation and shared utilization of *Pyrus* germplasm resources. China has abundant and diverse *Pyrus* germplasm resources, which provide important material guarantees for pear breeding and pear industry development. The National Pear and Apple Germplasm Repository (Xingcheng) is one of the earliest established national fruit tree resource preservation repository in China, with the total collection and preservation of over 1600 *Pyrus* germplasm accessions. It has provided a large amount of resources for pear research, production and popular science

收稿日期：2025-01-10　　**接受日期**：2025-03-20

基金项目：国家现代农业产业技术体系（CARS-28-01）；中国农业科学院科技创新工程（CAAS-ASTIP-RIP）；国家园艺种质资源库项目（NHGRC2023-NH02-1）

作者简介：田路明，男，研究员，硕士，研究方向为梨种质资源与创新。E-mail：tianluming@caas.cn

education in China, and has played an important role in talent training, rural revitalization and pear industry development. During the past 20 years, with the increase and stable support of scientific research funding, pear researchers in China have carried out a large amount of research work on pear germplasm resources phenotype identification, resistance identification, fruit traits evaluation, functional component identification, molecular marker evaluation, transcriptome, genomics research and so on. Over the past 20 years, we have formulated 4 agricultural industry standards and 1 local standard related to pear germplasm resources evaluation, published 6 books on pear, published over 100 academic papers both domestically and internationally, acquired 13 national invention patents granted, obtained 5 software copyrights, and registered 22 hybrid pear varieties. Since the establishment of China Agriculture Research System of pear industry in 2009, the supply and utilization of pear germplasm resources have significantly increased, effectively supporting the implementation of scientific research projects and talent training. This article briefly introduces the development process and preservation status of the National Pear and Apple Germplasm Repository (Xingcheng), focusing on the excellent pear germplasm resources, phenotype evaluation, phylogenetic analysis, fruit traits evaluation, resistance evaluation and genome. It summarizes the relevant scientific research progress on the utilization of pear germplasm resources and the scientific researches in the National Pear and Apple Germplasm Repository (Xingcheng) during the past 20 years, and reviews the technical supports for industrial development, and looks to future research directions, in order to provide reference information for the effective utilization of pear germplasm resources and industrial development in the future.

Key words: Pear; Germplasm resources; Collection; Conservation; Innovative utilization

梨属蔷薇科（Rosaceae）梨亚科（Pomaceae）梨属（*Pyrus*）植物，世界各地均有栽培，中国梨栽培历史悠久[1]。一般认为梨属植物起源于第三纪的中国西部或西南部山区，向东向西演化发展，主要分布于欧洲、北非、小亚细亚、伊朗、中亚、中国、朝鲜和日本；从地理分界线来讲，天山和兴都库什山以东分布的梨属植物为东方梨，以西的为西方梨[2]。随着地理环境的变迁，形成了3个次生中心：中国中心、中亚中心和近东中心[1]。梨属植物的表型形态具有高度可塑性和连续性，由于渐进的形态特征表现和频繁的杂交，给梨属植物的正确分类带来了巨大的挑战，世界上关于梨属植物的分类颇有争议，一般认为有22个种[2]。中国是东方梨重要原产地之一，种质资源丰富，现已定名的梨属植物有13个种，国外学者命名的8个中国梨种得到中国学者认可，即白梨（*P. bretschneideri* Rehd.）、秋子梨（*P. ussuriensis* Maxim.）、麻梨（*P. serrulata* Rehd.）、褐梨（*P. phaeocarpa* Rehd.）、杜梨（*P. betulaefolia* Bge.）、豆梨（*P. calleryana* Decne）、川梨（*P. pashia* Buch.-Ham. ex D. Don）和沙梨[*P. pyrifolia*（Burm.f.）Nakai]；中国专家俞德浚命名了5个中国梨种，分别为滇梨（*P. pseudopashia* Yu）、新疆梨（*P. sinkiangensis* Yu）、河北梨（*P. hopeiensis* Yu）、木梨（*P. xerophila* Yu）、杏叶梨（*P. armeniacaefolia* Yu）[2]。梨种质资源的科学分类，对梨种质资源的收集保存、鉴定评价和共享利用具有重要意义。

1956年第一次全国作物种质资源普查，中国果树所有关科研人员已收集保存梨品种资源，建立果树原始材料圃[3]；1979年5月，中国农业科学院在重庆召开的“全国果树科学研究规划会”决定建立国家果树种质资源圃；1981年开始第二次全国农作物种质资源普查，同年开始建设国家梨、苹果种质资源圃，“国家果树种质梨、苹果圃（兴城）（图1）”于1988年通过农业部验收[4]。2014年起开始第三次全国作物种质资源普查，各相关单位也开展梨资源的考察收集工作，进一步丰富了国家梨资源保存类型。2019年国家园艺种质资源库成立，设立国家园艺种质兴城梨分库。2022年国家梨苹果种质资源圃（兴城）被列入第一批72个国家级农作物种质资源库（圃）名单中。近20年来，随着科研经费的增加和稳定支持，中国梨科研工作者在梨种质资源表型评价、抗性鉴定、果实性状评价、功能成分鉴定、分子标记评价、转录组和基因组学研究等方面开展了大量研究工作。2009年国家梨产业技术体系建

图1 国家梨种质资源圃(兴城)

Fig. 1 The National Pear Germplasm Repository (Xingcheng)

设以来,梨种质资源的提供利用数量有了明显的提高,有力地支撑了科研项目的实施和人才培养。近20年来,本圃制定梨种质资源评价相关农业行业标准4项、地方标准1项,编著图书6部,发表国内外学术论文100余篇,授权国家发明专利13项,软件著作权5项,登记杂交梨品种22个。本文概括了近20年来国家梨苹果种质资源圃(兴城)的梨资源收集保存现状、鉴定评价,以及共享利用所取得的研究进展,并对未来的研究方向进行了展望,以期为中国梨种质资源的有效利用和梨产业发展提供参考。

1 梨种质资源的保存现状

1.1 梨资源收集保存总体情况

1989年,梨资源圃面积12.7 hm^2,高接圃1.3 hm^2,保存资源663份(含高接圃保存数),其他种类型68份,合计731份。近20年来,陆续开展了东北、西北、西南和长江流域等地区资源的考察收集工作,增加梨种质资源700余份,第三次全国种质资源普查接收保存梨资源243份(待鉴定),依照《梨种质资源描述规范和数据标准》[5]评价内容和方法,按基本信息、形态特征和农艺性状等进行了鉴定评价、整理编目。截至2023年12月底,收集保存和接收普查梨资源已超1600份(表1),已入圃保存中国原产梨属13个种和西洋梨种共计1489份,其中中国原产梨资源占到总量的82.2%。入圃已编目保存梨资源总数为857份,梨资源圃面积约16.7 hm^2。蒲富慎、黄礼森、李树玲、刘凤之、曹玉芬、田路明等先后为梨种质资源的收集保存与评价利用作出重要贡献。

表1 国家梨苹果种质资源圃(兴城)收集保存梨资源概况

Table 1 Overview of pear resources collected and preserved by National Germplasm Repository of Pear (Xingcheng)

类别 Category	种质资源 Germplasm resources	数量 Number
已编目野生资源 Cataloged wild resources	杜梨 *P. betulaefolia*	26
	豆梨 *P. calleryana*	3
	秋子梨 *P. ussuriensis*	32
	河北梨 *P. hopeiensis*	6
	褐梨 *P. phaeocarpa*	3
	木梨 *P. xerophila*	3
	麻梨 *P. serrulata*	2
	川梨 *P. pashia*	3
	杏叶梨 *P. armeniacaefolia*	1
	滇梨 *P. pseudopashia*	1
已编目栽培品种 Cataloged cultivars	白梨 *P. bretschneideri*	183
	砂梨 *P. pyrifolia*	160
	秋子梨 *P. ussuriensis*	60
	新疆梨 *P. sinkiangensis*	21
	西洋梨 *P. communis*	89
	杂种梨 *P. hybrid*	264
待编目资源 Resources to be identified	野生资源 Wild type	211
	品种资源 Cultivars	532

1.2 发掘的优异种质

1.2.1 多倍体种质资源 采用流式细胞仪对1000余份梨种质资源的染色体倍性进行了鉴定,结合SSR荧光分子标记技术进行相关验证分析,新发现25个三倍体梨种质资源,其中不乏一些有特色的优异种质[6-7]。近些年育成的三倍体梨品种华幸[8]、华香酥[9]和华香脆[10]表现优秀,四倍体芽变资源沙01、众翠、大鸭梨是比较优异的种质资源,可为梨育种研究利用。

1.2.2　抗病性种质资源　通过开展抗梨火疫病[11]、果实轮纹病[12-13]、腐烂病[14]和黑星病[15]鉴定评价,筛选出一批高抗和抗性较强的种质资源,综合筛选出抗病性较强的优异梨种质资源,如软儿梨、兰州冬果、凤县鸡腿、苹香、明丰梨、桔蜜、鸭梨三号、佛见喜、黄县长把、砀山酥、德胜香、懋功、秋白和锦香等。

1.2.3　自交亲和种质资源　梨属于配子体型自交不亲和性果树,需要配置授粉树,常因授粉树配置不当或人工授粉不及时而影响产量、质量。目前梨树栽培品种中自交亲和资源极少,一般认为20世纪80年代日本发现的二十世纪梨芽变奥萨二十世纪和中国鸭梨芽变资源金坠梨、闫庄梨为自交亲和资源。早冠、早美酥、七月酥、中梨1号等资源自交授粉受精结实率较高,此外,四倍体梨品种如晋县大鸭梨、沙01等也表现出较高的自交亲和性[16]。

1.2.4　红皮种质资源　中国地方红梨资源丰富,云南红皮梨如火把梨、巍山红梨、文山红梨、砚山红梨和宁安红梨等,四川会理的红皮酥,河北的独里红、红枝母秧、红霄梨和红罐梨,辽宁的油红宵、水红宵、洋红宵、官红宵和红南果等[16]。国内杂交选育出的红皮梨主要有红香酥梨和红香蜜梨(库尔勒香梨×鹅梨),红酥脆、满天红和美人酥(幸水×火把梨)、八月红(早巴梨×早酥梨)、硕丰梨(苹果梨×砀山酥梨)、寒红(南果梨×晋酥)和红金秋(大香水×苹果梨)等。优良红色芽变梨有云红梨1号、满天红芽变奥冠红梨、南果梨芽变红南果、早酥梨芽变早酥红等。国外的红色梨资源主要是西洋梨系统中的一些品种,如红巴梨、红安久、红考密斯、早红考密斯、日面红和路易斯等。

1.2.5　观赏性　从锦香梨(南果梨×巴梨)选育而成的紧凑型资源兴矮3号和兴矮4号,是适于盆栽的良好资源。综合评价野生资源筛选出5个适宜观赏栽植的秋子梨野生资源,即036、安图山梨1号、孙吴山梨7号、绥棱山梨1号和东宁山梨1号,可在中国北方地区作为观赏栽植利用[17]。另外本圃登记梨观赏种质4个,即锦缎山梨[GPD梨(2020)210034]、绮簇山梨[GPD梨(2020)210001]、蓓蕾山梨[GPD梨(2020)210035]和繁花山梨[GPD梨(2020)210002]。

2　保存资源的评价与利用

2.1　支撑基础研究

2.1.1　表型鉴定评价　梨资源表型鉴定评价是基础性工作,已经建立表型数据库。对13个梨种625份资源花器官性状进行分析,其中花药颜色、花瓣形状、花蕾颜色、花瓣相对位置多样性指数较高,表型多样性相对丰富,在数据采集和分析中发现深红色和深紫色两种花药颜色的资源,这在梨规范标准及其他相关著作中未见报道,因此有必要进行修订和完善评价指标[18]。对548份资源的叶片和枝条23个表型性状进行数据采集及整理,梨叶片和枝条种群间变异高于种群内变异,种群间的变异是其主要变异来源,筛选出5个数值型性状可作为梨枝条和叶片的综合评价指标[19]。对570份梨果实性状进行分析,梨种质资源9个果实数量性状中可滴定酸含量的变异系数最高,更能体现梨品种间的差异,9个性状均不符合标准正态分布,其原因可能是长期人为选择;软肉型梨(秋子梨和西洋梨)的平均可溶性固形物含量和可滴定酸含量高于脆肉型梨[20-21]。

2.1.2　亲缘关系分析　利用不同类型分子标记开展梨属植物的亲缘关系分析,基于梨基因组DNA进行AFLP[22]、RAPD[23]、SSR[24-28]和SRAP[29]分析研究。基于SSR分子标记的研究结果,已经构建了1200余份梨种质资源的指纹图谱库[30-33]。梨EST-SSR标记开发效率较高,是梨SSR标记开发的重要措施,对梨品种的鉴定与遗传多样性分析具有重要应用价值[34-35]。分析梨EST中SSR位点分布规律,开发梨EST-SSR引物,聚类结果表明,梨被明显地区分成东方梨和西方梨两大群,分类效果明显[34]。总体上分子标记研究表明,聚类分析图显示东方梨系统和西洋梨系统明显分开,白梨、中国沙梨和日韩沙梨往往聚在一起,亲缘关系非常密切[24-26,28,34,36]。

对叶绿体基因组DNA进行亲缘关系分析,利用*trn*L intron、*trn*L-*trn*F、*trn*S-*psb*C和*acc*D-*psa*Ⅰ等4个叶绿体DNA片段,完成不同区域的梨属种质资源系统进化和遗传多样性分析[37-42]。为评价广西梨地方品种的遗传多样性水平,对54份广西梨地方品种的叶绿体DNA高变区域*acc*D-*psa*Ⅰ进行测序,2个原始单倍型只在横县梨地方品种中检测到,同时横县的单倍型类型最多,推测横县为广西梨起源与多样性中心[43]。利用叶绿体非编码区的高变区域*acc*D-*psa*Ⅰ,以111份梨野生资源及32份对照梨资源为研究对象,对其遗传多样性、亲缘关系及起源演化进行分析,通过单倍型分析推测杜梨可能是梨的原始种[44]。

2.1.3 自交不亲和鉴定 梨是配子体自交不亲和植物，其自交不亲和性是由具有复等位基因的单一位点即S（S-RNase）位点控制，梨自交不亲和性以及自交不亲和基因的研究可以为梨丰产栽培和遗传改良提供重要的科学依据[45]。谭晓风团队对中国梨种质资源开展梨自交不亲和基因研究，确定了一些梨品种的S基因型[45-51]。从中国白梨和沙梨资源中分离鉴定了15个梨自交不亲和新基因；分析了新S基因的序列特征；确定了中国白梨中至少存在17个S等位基因，中国沙梨中至少存在10个S等位基因[45]。新高系梨的5个芽变中，证明S基因型一直未发生变异，说明芽变引起S基因型改变的概率极小[50]。梨品种沙01是库尔勒香梨的一个变种，田间授粉数据显示，沙01表现出自交亲和性，而库尔勒香梨表现出自交不亲和性，沙01的S基因型为$S_{22}S_{22}S_{28}S_{28}$，库尔勒香梨的S型为$S_{22}S_{28}$[52]。日本沙梨Meigetsu的S8 Rnase（*Pp*S8-RNase）和库尔勒香梨S28 Rnase（*Ps*S28-RNase）的氨基酸序列完全一致；在苹果属（*Malus spectabilis*）中的S3 Rnase（*Ms*S3-RNase）也被发现与沙梨中的S8 RNase相似，在推导的氨基酸序列中具有96.9%的同一性；研究结果表明，*Pp*S8-RNase、*Ps*S28-RNase和*Ms*S3-RNase在梨和苹果两种物种分化后保持了相同的识别特异性，*Pp*S8-RNase和*Ms*S3-RNase之间的氨基酸替换不会改变识别特异性[53]。

2.1.4 果实多酚含量评价 利用高效液相色谱法（HPLC）检测到梨果中10种酚类物质，不同梨种及品种的果实中酚类物质含量差异很大，其中绿原酸平均含量最高，不同酚类物质中绿原酸含量最高，且与多酚氧化酶结合能力最强，为最主要的褐变底物[54]。采用高效液相色谱法对37份红梨资源成熟期梨果皮中花色素苷组分及含量进行测定，不同栽培种的红梨花色素苷组分存在差异；综合评价筛选出优异红皮梨，即官红宵、洋红宵、弥渡玉梨、弥渡红梨和丽江甜中古，以及杂交资源八月红、红香酥等[55]。采用超高效液相色谱-二极管阵列-串联四级杆质谱联用法（UPLC-PDA-MS/MS-ESI）对砀山酥梨和秋白梨果皮、果肉和果心（不含种子）中的酚类物质进行了分析，大多数酚类物质在果皮中含量最高[56-57]，幼嫩叶片多酚物质组成及含量均较丰富，可作为多酚提取资源进行开发利用[57-59]。90份梨资源的叶片多酚含量分析结果表明，叶片中以熊果苷为主要酚类化合物，占样品中酚类化合物总含量的32.3%，约86.7%资源的熊果苷含量高于其他酚类化合物；白梨和沙梨资源在酚类含量和性状上没有明显区别，而秋子梨资源具有明显区别[60]。186份梨种质资源的果实总黄酮含量分析结果表明，梨种质资源果实共检测出10种类黄酮，总黄酮含量（*w*，后同）为188.6~6 773.0 mg·kg^{-1}，平均值825.7 mg·kg^{-1}，野生资源果实中总黄酮含量明显高于栽培品种[61]。

2.1.5 果实糖酸评价 果实糖酸含量是衡量果实内在品质的重要指标[62]。梨果的糖分主要由果糖、葡萄糖、蔗糖和山梨醇组成，其中果糖含量最高；不同资源之间果糖和葡萄糖含量相对稳定，蔗糖和山梨醇含量变化幅度较大；白梨为高葡萄糖和高山梨醇型，沙梨为高蔗糖和高山梨醇型；西洋梨为高果糖和高山梨醇型，秋子梨为高葡萄糖和高蔗糖型，新疆梨为高果糖和高葡萄糖型[63]。不同品种中，白梨和沙梨总糖和总酸含量均较低，秋子梨的糖和酸含量均较高，新疆梨的糖含量相对较高，酸含量居中，西洋梨的糖含量较高，而酸含量最高；糖酸比变化较大（6.95~33.87），以白梨和沙梨糖酸比较高，秋子梨和新疆梨居中，西洋梨较低[64]。基于有机酸含量的聚类分析结果揭示，白梨与秋子梨、沙梨存在较近的关系，以及西洋梨与秋子梨高酸的共同特征，同时也表明西洋梨与其他栽培种亲缘关系较远[65]。为了探讨不同梨资源间果实糖积累的差异及产生的原因，测定了果实发育过程中有机酸和可溶性糖含量及相关酶活性，与发育的动态变化特征进行比较分析[66-67]。对8份梨资源果实发育期果肉质地TPA参数进行分析，明确了软肉梨和脆肉梨果实质地动态变化规律；同时利用HPLC分析果肉糖酸组分的动态变化，明确了糖酸组分含量的转折点以及糖酸组分含量与果肉质地TPA参数的相关性[68-69]。探讨野生秋子梨果实糖酸组分的遗传变异及遗传多样性，为野生秋子梨种质资源的保护与利用提供基本资料[70]。库尔勒香梨和茌梨的果实萼片宿存与否，对果实可溶性固形物含量和可滴定酸含量有影响，授粉品种不同影响库尔勒香梨果实品质[71]，人工剪萼能够改善茌梨果形，提高风味品质，与宿萼果相比，剪萼果实成熟期可溶性糖含量高，可滴定酸含量低[72]。

2.1.6 果实香气评价 梨栽培品种具有不同程度的香气，其中秋子梨和西洋梨具有明显的香气，但秋子梨的香气更浓郁，香味不同于西洋梨[73]。采用固相

微萃取（SPME）和气相色谱-质谱联用（GC/MS）技术对16个完熟秋子梨品种果实的挥发性物质含量进行测定，发现不同地方品种果实香气种类及含量存在明显差异[74-75]，秋子梨地方品种资源果实香气成分的主要组成是烯烃类和酯类，而且多数品种中烯烃类含量与酯类含量成反比[75]。利用HS-SPME和GC-MS方法，检测33个秋子梨品种挥发性物质，共检测到108种挥发性化合物，发现酯类和醛类是主要的挥发性化合物，其次是醇类和烃类[76]。利用该方法检测8个梨品种果实5个不同货架期的挥发性物质，共检测到160种挥发性化合物质，其中3个秋子梨的挥发性化合物的数量和含量显著高于西洋梨和脆肉梨类型，秋子梨主要挥发性成分是酯类、醛类和醇类[77]。聚类热图分析结果表明随着货架期的延长，脆肉梨中不同挥发性化合物的含量变化不大，而软梨的变化差异较大，果实软化后挥发性物质含量和数量显著增加[77]。对野生秋子梨果香气物质组分的遗传变异及遗传多样性进行分析，结果表明，野生秋子梨香气成分种类平均值明显高于栽培品种[70]。

2.1.7 *果肉石细胞评价* 石细胞团含量是影响梨果肉品质的重要性状。对梨种质资源主要栽培品种和部分野生资源，开展果实发育期和成熟期果肉石细胞含量测定分析。对5个栽培种304份梨资源的果肉石细胞含量分析的结果表明，秋子梨果肉石细胞含量总体最高，白梨最低[78]。通过3 a（年）鉴定，筛选出早酥、德胜香、赤穗、玛丽娅、泗阳青梨、康佛伦斯、巴梨、青魁等8份石细胞含量极低的资源[78]。利用不同直径筛网过滤，统计304份资源石细胞团各直径区间所占的平均百分比，结果表明，直径≥250 μm的石细胞团约占供试资源总体石细胞团含量的75%以上；直径＜250 μm的石细胞团对感官评价果肉质地的影响较小，直径≥250 μm的石细胞团含量是影响果肉质地的重要指标[79]。石细胞团含量与果实平均单果质量呈极显著负相关，与直径＞250 μm的石细胞团含量百分比呈显著正相关，与＜250 μm的石细胞团含量百分比呈显著负相关[79]。杜梨果心线明显但几乎无明显石细胞团，其他资源靠近果心线的石细胞团密集且直径大，豆梨果心线石细胞团形成坚硬的壳状；供试10份杜梨果实石细胞团平均含量最低，其中平均单果质量最小的杜梨10的石细胞团含量极低；野生河北梨和秋子梨果实石细胞团不但含量较高，而且直径较大，豆梨和褐梨次之[80]。果肉木质素含量百分比与烘干果肉含量百分比呈显著正相关，石细胞团木质素含量百分比与果肉木质素含量百分比也呈显著正相关，与烘干果肉含量百分比相关性不显著[81]。

2.1.8 *果肉质地评价* 梨果肉质地是衡量果实内在品质的一个重要感官评价指标。原产中国的栽培梨种有4个种，分别是白梨、沙梨、秋子梨和新疆梨，秋子梨与东方梨其他品种不同，是一种典型的呼吸跃变型水果品种，但其与西洋梨栽培品种有相似之处，都需经后熟软化果实变软后才可食用[82]。选择软肉型和脆肉型梨品种，分别在果实发育期、不同成熟期以及冷藏后不同货架期，利用质构仪（TPA）测定果肉破裂力、硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性等质地参数指标，并对质地参数进行相关性分析[69, 82]。采用质构仪TPA法获得的相关质地参数指标能准确地反映出不同阶段果肉质地的变化，结合不同成熟度的梨果在货架期质地的变化规律及不同梨品种之间质构特性的差异，为梨果实适宜采收期和适宜货架期判断以及采后果肉质地鉴定评价提供一定的参考依据[69, 82-83]。果胶是细胞壁的主要成分，果肉中果胶的性质变化是果实质地发生变化的主要原因之一，果肉硬度与果胶的水解产物半乳糖醛酸含量呈负相关，与果胶含量呈正相关[84]。在秋子梨上的研究发现，果肉的硬度与水溶性果胶（WSP）和离子结合果胶（ISP）含量均呈显著负相关，而与共价结合果胶（CSP）的含量呈极显著正相关，即当WSP和ISP的含量均上升而CSP的含量下降时，果肉硬度下降[85]。甘油磷脂代谢与梨采后软化密切相关，推测脂质代谢在梨果实采后和软化过程中起着重要作用[86-87]。

2.1.9 *抗性鉴定评价* 梨种质资源的抗性强弱是体现其价值大小的重要因素。在中国梨种质中可能存在较丰富的抗梨火疫病资源；东方梨的抗性较西方梨更强；而在梨的地方品种中蕴藏着良好的抗病基因[11]。对6种梨的182份资源进行果实轮纹病抗性评价，沙梨、白梨、秋子梨、种间杂交梨、西洋梨和新疆梨2 a平均发病率分别为6.15%、7.20%、7.43%、12.66%、17.00%、18.93%[12]。研究发现，梨树不同类型种质的腐烂病抗性有明显差异，其发病程度与枝条韧皮部总酚含量呈显著正相关；内源水杨酸（SA）和茉莉酸（JA）可能参与抗病梨树种质资源对腐烂病的抵御过程[14]。开展梨野生砧木资源抗盐碱性评价，抗氧化

酶(SOD、POD、CAT)活性分析结果表明，杜梨抗氧化酶活性及耐盐碱性强于木梨、秋子梨[88]。为探究不同杜梨资源对盐碱胁迫的生理响应及筛选耐盐碱资源，选择不同区域的杜梨资源进行盐碱胁迫处理，发现2份高抗盐碱类型和1份盐碱敏感类型[89]。

2.1.10 *基因组研究* 完成首个野生种杜梨基因组组装，基因组大小为532.7 Mb，Contig N50为1.57 Mb，共有59 552个蛋白质编码基因和247.4 Mb的重复序列对该基因组进行注释，该基因组为梨功能基因挖掘、梨属植物驯化及野生资源利用提供了重要信息；对风味代谢相关基因的研究表明，花青素还原酶(ANR)代谢途径影响梨果实的涩味，山梨醇转运体(SOT)跨膜转运可能是影响可溶性有机物积累的主要因素[90]。完成500余份梨基因组重测序，开展了梨花、叶、果实等主要性状的全基因组关联分析(GWAS)，发现一批相关性状的关键基因(待发表)。为了找出控制外果皮颜色性状的基因，进行了全面的GWAS分析研究，并筛选了候选基因；通过代谢组学和转录组学数据的综合分析，一个编码ABCG蛋白的基因已被证实与该性状有关[91]。接近端粒到端粒(T2T)无间隙水平的砀山酥梨和康佛伦斯梨被组装，最终组装基因组大小分别为510.98 Mb和510.71 Mb，Contig N50为29.47 Mb和30.47 Mb，分别注释46 394和44 702个蛋白质编码基因[92]。

2.1.11 *其他* 开展不同种类梨品种果实制汁特性研究，沙梨系统资源的出汁率高、褐变轻、耐贮存且果汁多为清汁，果汁鲜亮透明，综合评价制汁特性筛选一批适宜鲜榨梨汁品种，如翠冠、幸水、早生喜水、秋荣、金水、丰水、黄花、今村秋、雪青、杭青、甜秋子、小花、木瓜[93-95]。连续2 a以290份梨种质为试验试材，采用≤7.2 ℃模型、0~7.2 ℃模型和犹他模型3种需冷量估算模型以及需热量估算模型中的生长度时数模型，估算梨种质的需冷量、需热量，筛选出低需冷量梨种质29份、低需热量65份、高需热量27份以及需冷、热量均低的种质12份[96]。花萼宿存影响库尔勒香梨果实品质，*IDA*基因似乎在花萼脱落过程中起着关键作用[97]。利用最大熵模型(MaxEnt)和地理信息系统(GIS)，开展了梨野生资源生态适宜区研究，预测分析环境和气候因子对豆梨、木梨、川梨产生的影响[98-100]。

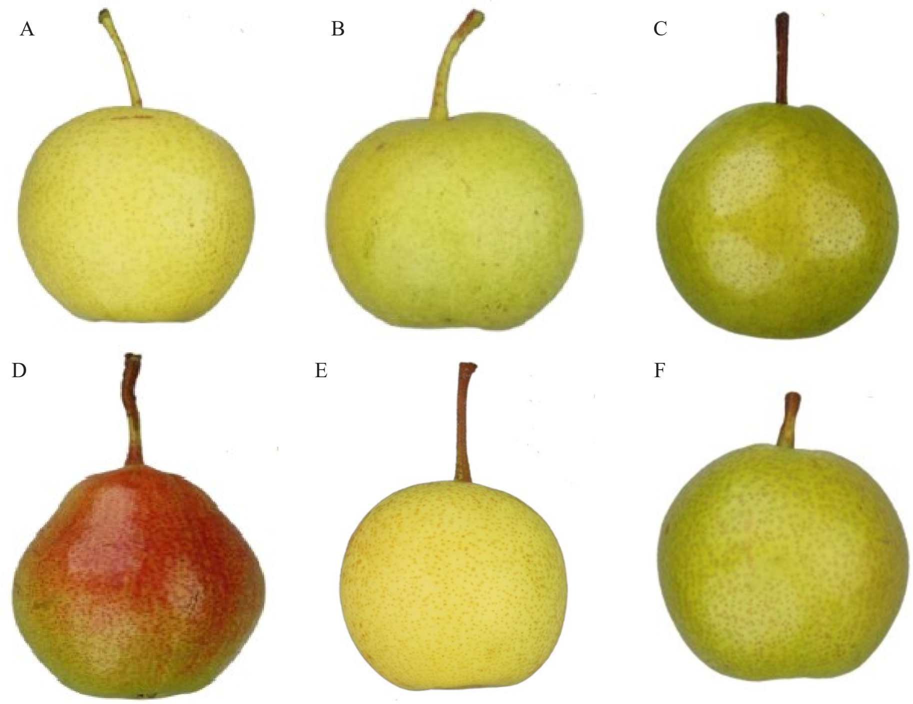
2.2 支撑育种

本圃的前辈专家，在建国初期收集了大量梨种质资源作为育种材料保存，并开展了大量杂交育种工作。早期育成的代表性品种资源有五九香、锦丰、锦香、八月红和早酥等，其中苹果梨杂交育成的早酥梨和锦丰梨推广面积较大，并且早酥梨作为亲本被广泛应用，育成优良梨品种20余个，苹果梨是晚熟、抗寒梨品种选育的优良亲本，早酥梨是早熟梨选育的优良亲本[101-102]。沙01是库尔勒香梨的四倍体芽变，是倍性育种的优异种质资源[103]，利用沙01作为亲本育成优良梨品种有三倍体华香酥[9]、华香脆[10]等。本圃登记梨品种26个，其中4个观赏性野生种质，22个杂交选育新品种，部分新品种如玉翠香[104]、中梨京红[105]、中梨锦翠1号、华锦和中香1号等已在不同区域进行适应性评价(图2)。近20年来本圃向国内有关大学、科研机构、生产单位和个人提供科研、育种和引种材料，协助开展杂交授粉等，申请利用者反馈相关利用信息(图3)。

2.3 支撑产业提升

笔者课题组自2009年承担国家梨产业技术体系岗位以来，积极开展体系的重点研发任务，配合对接岗站开展合作研究和种质资源提供利用等(图3)。在体系相关岗、站专家团队协助下，在不同优势产区共采集224个梨资源441份果实样品，召开现场评价会议，专家对27项外观品质性状、13项内在品质性状进行了评价。南方早熟梨资源评价结果表明，翠冠、黄冠、圆黄、丰水、5-18等品种综合评价最好，果实品质评价指标可简化为石细胞含量、可溶性糖含量、固酸比、单果质量、果形指数5项[106-107]。北方优势产区不同熟期梨果实鉴评结果表明，黄金梨、黄冠、圆黄、早红考密斯、巴梨、朝鲜洋梨、红香酥、玉露香、早酥、龙园洋红梨、南果梨、新梨7号等品种综合评价最好[108]。黄河故道优势产区梨果实鉴评结果表明，黄金梨、黄冠、玉露香、丰水、晚秀、圆黄等品种综合评价最好。西部优势产区梨果实鉴评结果表明，库尔勒香梨、白皮砀山、玉露香、黄冠、日面红、早酥、甘梨早6等综合评价最好。西洋梨优势产区鉴评结果表明，红茄梨、红巴梨、日面红、94-3-13和香红梨等综合评价最好。

笔者课题组初选出10个极早熟和20个极晚熟品种，分别在武汉综合试验站、烟台综合试验站、北京综合试验站、成都综合试验站进行高接，建立极早熟和极晚熟梨种质区试点4个，观察其适应性以期推广利用。通过对兴城、北京、武汉、烟台和成都5个地区极端熟期品种的调查和评价，筛选出极早熟



A. 玉翠香；B. 中梨锦翠 1 号；C. 华锦；D. 中梨京红；E. 中梨早白；F. 中香 1 号。

A. Yucuixiang; B. Zhongli Jincui 1; C. Huajin; D. Zhongli Jinghong; E. Zhongli Zaobai; F. Zhongxiang 1.

图 2　部分登记梨品种果实

Fig. 2　Some fruits of pear varieties registered

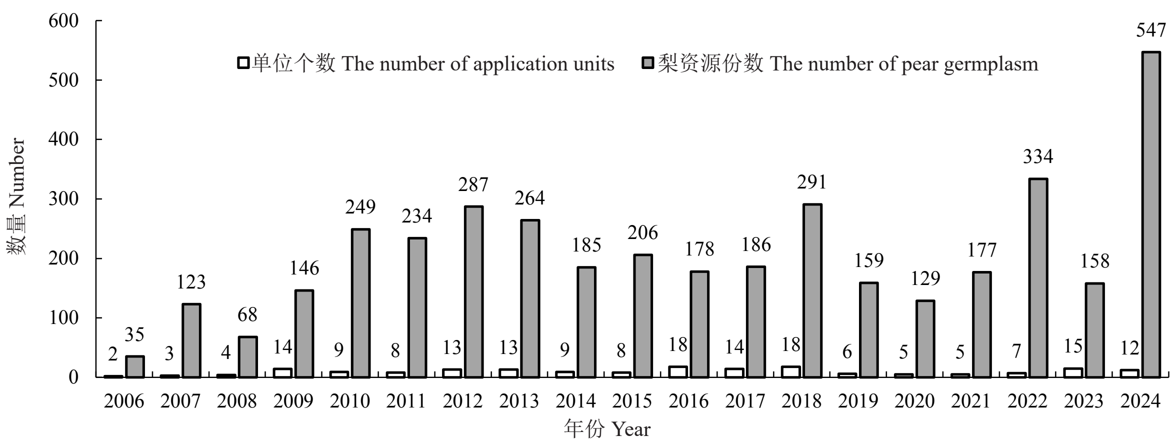


图 3　2006—2024 年国家梨苹果种质资源圃（兴城）申请利用梨资源的单位个数和资源份数

Fig. 3　Numbers of application unit and germplasm provided by National Pear Germplasm Resources (Xingcheng) from 2006 to 2024

优良品种5个，即伏茄梨、朱丽比恩、珍珠梨、玉璧林达和小伏洋梨，筛选出极晚熟优良品种8个，即晚秀、新高、金花4号、栖霞大香水、崇化大梨、丰月、爱宕梨和锦丰梨。

“国家梨产业技术体系辽西地区培训与梨产业发展研讨会”对绥中秋白梨的发展提出了针对性建议，本团队成员多次参加辽宁秋白梨和南果梨产业发展研讨会议以及其他梨产区研讨会等。2020—2021年笔者课题组与新疆农业科学院园艺研究所合作，开展梨种质资源苹果枝枯病抗性鉴定评价，协助完成了138份梨资源苹果枝枯病抗性鉴定，筛选出抗性资源2份，为新疆香梨产业的健康、可持续发展提供技术支撑。利用已完成测序的梨资源基因组数据和表型数据，开发了梨资源溯源系统，2020年协助完成了青海特色梨地方品种黄果梨的资源溯源工作。2023年召开首届东南丘陵生态区梨产业高

质量发展论坛，会议期间发布了云和雪梨溯源成果，并请梨体系专家把脉云和雪梨发展风向标，加速云和雪梨产业转型升级及品牌打造。

笔者课题组制定了相关行业标准4项和地方标准1项，分别为《农作物种质资源鉴定技术规程 梨》（NY/T 1307—2007）、《农作物优异种质资源评价规范 梨》（NY/T 2032—2011）、《梨种质资源描述规范》（NY/T 2922—2016）、《梨黑星病抗性鉴定技术规范》（NY/T 3345—2019）和《秋子梨品质评价规范》（DB21 T 3248—2020）。出版著作6部，分别为《梨种质资源描述规范和数据标准》（2006）、《优质梨生产技术百问百答》（2009）、《中国梨品种》（2014）、《当代梨》（2016）、《中国梨遗传资源》（2020）和《中国果树种质资源多样性-梨》（2024），参编《梨学》（2013）等。向有关专家、教学机构和生产者赠送了有关著作，这些标准和著作为梨生产实践和产业发展提供了重要参考。

3 展 望

国家果树种质梨、苹果圃（兴城）自1989年建成以来，陆续开展了一系列梨资源考察收集、鉴定评价和提供利用工作，不断丰富梨种质多样性，并为梨教学与科研、科普与示范、生产与推广提供重要物质保障。面对当前国内外梨产业发展的挑战，国家梨苹果种质资源圃（兴城）在继续安全保存梨种质资源的基础上，将从以下四个方面重点开展工作：

3.1 继续收集与保存梨种质资源

中国梨种质资源丰富多样、分布广泛，面临全球气候变暖、生态环境破坏以及地方品种消失的大背景，今后将重点开展以下工作：一是加强收集保护珍稀濒危种质资源，丰富核心梨种质资源；二是加强与地方相关部门的合作，充分摸清珍稀资源的分布区域和生长环境，完善原生境保护和异地保存机制；三是加强国内外合作与交流，争取引进国外的梨种质资源，以丰富梨资源多样性。

3.2 继续精准评价和共享利用梨种质资源

一是依照《梨种质资源描述规范和数据标准》，继续进行梨种质资源的表型鉴定评价工作，不断完善梨种质资源表型数据库；二是以梨产业发展需求为目标，重点围绕梨果实品质、加工性、抗逆性和抗病虫害等性状开展精准评价，挖掘优异梨种质资源；三是利用已完成的500余份梨核心种质资源基因组重测序数据，结合表型性状的精准评价数据，开展全基因组关联分析，以挖掘优异性状关键主效基因和等位变异，探索重要性状的分子调控机制，为梨育种提供理论支撑；四是开展梨重要性状的遗传分析，以开发相关分子标记，辅助常规杂交育种工作，提高梨种质资源开发利用效率。

3.3 不断完善梨种质资源保存技术和共享机制

目前梨种质资源保存方式以田间活体植株为主，保存方式较单一；共享利用存在反馈信息模糊或难以评价利用成效的问题。将从以下几点开展工作：一是积极争取资金支持，提升国家梨苹果种质资源圃（兴城）的保存设施条件，以期实现信息化、标准化和智能化管理；二是拓展离体保存技术研究，逐步完善多元保存技术体系；三是制定相关种质资源共享利用规范，实现供方和需方的利益共赢，促进梨优异资源共享利用，并丰富国家圃梨资源多样性，积极促进利用单位反馈利用成效，并分享种质资源利用成效。

3.4 不断加强人才培养及团队建设

梨种质资源事业是一项基础性、长期性和繁杂性的工作，不但需要稳定的人才队伍和经费支撑，而且需要扎实的理论基础和丰富的实践经验。目前国家梨苹果种质资源圃（兴城）的梨资源团队有科研人员8人，支撑人员1人，其中研究员2人，副研究员1人，博士4人，形成了一支老中青结合的人才梯队。今后不但要加强团队成员自身锻炼提升，还要加强对青年科技人员的专业技术培训；不但要借鉴学习国内其他国家种质资源圃的先进经验，还要积极开展国际合作交流和访学，从而不断提升科研人员的科学素养，为梨种质资源的安全保存和利用提供可靠的人才保障。

参考文献 References：

[1] 田路明，曹玉芬，董星光，张莹，齐丹，徐家玉，霍宏亮. 我国梨品种改良研究进展[J]. 中国果树，2019(2)：14-19.
TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，XU Jiayu，HUO Hongliang. Research progress on creation of *Pyrus* germplasm in China[J]. China Fruits，2019(2)：14-19.

[2] 田路明，董星光，曹玉芬，张莹，霍宏亮，齐丹，徐家玉，刘超. 梨属植物分类研究进展[J]. 中国果树，2021(9)：5-10.
TIAN Luming，DONG Xingguang，CAO Yufen，ZHANG Ying，HUO Hongliang，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao. Advances in the research on the taxa of *Pyrus* plants[J]. China Fruits，2021(9)：5-10.

[3] 董星光，田路明，齐丹，霍宏亮，张莹，徐家玉，刘超，王大江，王昆，曹玉芬．我国果树资源保存与利用研究动态与趋势[J]. 中国果树，2022(10)：57-62.
DONG Xingguang，TIAN Luming，QI Dan，HUO Hongliang，ZHANG Ying，XU Jiayu，LIU Chao，WANG Dajiang，WANG Kun，CAO Yufen. Dynamics and trends of conservation and utilization research of fruit resources in China[J]. China Fruits，2022(10)：57-62.

[4] 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[J]. 果树学报，2019，36(10)：1273-1282.
WANG Wenhui，WANG Guoping，TIAN Luming，LI Xiugen，LÜ Xiaolan，ZHANG Yuxing，ZHANG Jianghong，CAO Yufen. Fruit scientific research in new China in the past 70 years：Pear[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(10)：1273-1282.

[5] 曹玉芬，刘凤之，胡红菊，张冰冰．梨种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京：中国农业出版社，2006.
CAO Yufen，LIU Fengzhi，HU Hongju，ZHANG Bingbing. Descriptors and data standard for pear (*Pyrus* spp.)[M]. Beijing：China Agriculture Press，2006.

[6] 田路明，齐丹，曹玉芬，董星光，张莹，霍宏亮，徐家玉．利用流式细胞仪鉴定梨种质资源染色体倍性[J]. 中国果树，2018(3)：29-32.
TIAN Luming，QI Dan，CAO Yufen，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，XU Jiayu. Identification of chromosomal ploidy of *Pyrus* germplasm resources by flow cytometry[J]. China Fruits，2018(3)：29-32.

[7] 齐丹，田路明，董星光，张莹，霍宏亮，徐家玉，刘超，张小双，詹俊宇，张思梦，曹玉芬．梨多倍体种质资源的鉴定[J]. 中国果树，2023(6)：10-15.
QI Dan，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，XU Jiayu，LIU Chao，ZHANG Xiaoshuang，ZHAN Junyu，ZHANG Simeng，CAO Yufen. Identification of pear polyploid germplasm resources[J]. China Fruits，2023(6)：10-15.

[8] 王斐，方成泉，姜淑苓，林盛华，欧春青，李连文，马力．大果优质三倍体梨新品种'华幸'[J]. 园艺学报，2014，41(11)：2355-2356.
WANG Fei，FANG Chengquan，JIANG Shuling，LIN Shenghua，OU Chunqing，LI Lianwen，MA Li. A new triploid pear cultivar 'Huaxing'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2014，41(11)：2355-2356.

[9] 张莹，曹玉芬，田路明，董星光，霍宏亮，李树玲，黄礼森，赵德英，齐丹，徐家玉，闫帅，王立东．三倍体梨新品种'华香酥'[J]. 园艺学报，2020，47(5)：1009-1010.
ZHANG Ying，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，HUO Hongliang，LI Shuling，HUANG Lisen，ZHAO Deying，QI Dan，XU Jiayu，YAN Shuai，WANG Lidong. A new triploid pear cultivar 'Huaxiangsu'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2020，47(5)：1009-1010.

[10] 田路明，张莹，曹玉芬，董星光，霍宏亮，李树玲，黄礼森，赵德英，齐丹，徐家玉，闫帅，王立东．梨新品种'华香脆'的选育[J]. 中国果树，2021(7)：69-70.
TIAN Luming，ZHANG Ying，CAO Yufen，DONG Xingguang，HUO Hongliang，LI Shuling，HUANG Lisen，ZHAO Deying，QI Dan，XU Jiayu，YAN Shuai，WANG Lidong. Breeding of a new pear cultivar 'Huaxiangcui'[J]. China Fruits，2021(7)：69-70.

[11] 刘华威，王晓鸣，郭庆元，韩丽娟，曹玉芬，张薇，田路明．梨种质对梨火疫病的抗性研究[J]. 植物遗传资源学报，2008，9(2)：195-200.
LIU Huawei，WANG Xiaoming，GUO Qingyuan，HAN Lijuan，CAO Yufen，ZHANG Wei，TIAN Luming. Identification of resistance to fire blight in pear germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2008，9(2)：195-200.

[12] 田路明，董星光，曹玉芬，周宗山，吴玉星．梨品种资源果实轮纹病抗性的评价[J]. 植物遗传资源学报，2011，12(5)：796-800.
TIAN Luming，DONG Xingguang，CAO Yufen，ZHOU Zongshan，WU Yuxing. Evaluation of resistance to fruit ring rot for pear cultivars[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2011，12(5)：796-800.

[13] 田路明，董星光，周宗山，徐成楠，张莹，曹玉芬．梨品种果实人工接种轮纹病的抗性评价[J]. 辽宁农业科学，2013(3)：15-17.
TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHOU Zongshan，XU Chengnan，ZHANG Ying，CAO Yufen. Evaluation of resistance to fruit ring rot for pear cultivars[J]. Liaoning Agricultural Sciences，2013(3)：15-17.

[14] 刘普，施园园，薛程，吴婷婷，吴湘琴，曹玉芬，田路明，朱立武．梨树腐烂病抗性种质筛选及相关生理生化特性研究[J]. 西北植物学报，2014，34(6)：1164-1172.
LIU Pu，SHI Yuanyuan，XUE Cheng，WU Tingting，WU Xiangqin，CAO Yufen，TIAN Luming，ZHU Liwu. Investigation of the resistance to pear *Valsa* canker and the physiological and biochemical characteristics in *Pyrus* germplasm[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2014，34(6)：1164-1172.

[15] 董星光，田路明，曹玉芬．梨种质资源对黑星病抗性评价[J]. 植物遗传资源学报，2012，13(4)：571-576.
DONG Xingguang，TIAN Luming，CAO Yufen. Evaluation of resistance to scab in pear germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2012，13(4)：571-576.

[16] 田路明，曹玉芬，董星光．五类特异梨种质资源概述[J]. 中国种业，2010(3)：16-18.
TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang. Overview of five types of special pear germplasm resources[J]. China Seed Industry，2010(3)：16-18.

[17] 张莹，曹玉芬，田路明，董星光，齐丹，霍宏亮，徐家玉，王立东，刘超，詹俊宇，王超．秋子梨野生资源部分表型性状遗传多样性评价及观赏优异资源的筛选[J]. 中国果树，2019(6)：91-94.
ZHANG Ying，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，QI Dan，HUO Hongliang，XU Jiayu，WANG Lidong，LIU Chao，

ZHAN Junyu，WANG Chao. Genetic diversity evaluation of some phenotypic traits and selection of excellent ornamental resources of wild *Pyrus ussuriensis* in China[J]. China Fruits，2019(6)：91-94.

[18] 张莹，曹玉芬，霍宏亮，田路明，董星光，齐丹，张小双. 基于花表型性状的梨种质资源多样性研究[J]. 园艺学报，2016，43(7)：1245-1256.
ZHANG Ying，CAO Yufen，HUO Hongliang，TIAN Luming，DONG Xingguang，QI Dan，ZHANG Xiaoshuang. Research on diversity of pear germplasm resources based on flowers phenotype traits[J]. Acta Horticulturae Sinica，2016，43(7)：1245-1256.

[19] 张莹，曹玉芬，霍宏亮，徐家玉，田路明，董星光，齐丹，张小双，刘超，王立东. 基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性[J]. 中国农业科学，2018，51(17)：3353-3369.
ZHANG Ying，CAO Yufen，HUO Hongliang，XU Jiayu，TIAN Luming，DONG Xingguang，QI Dan，ZHANG Xiaoshuang，LIU Chao，WANG Lidong. Diversity of pear germplasm resources based on twig and leaf phenotypic traits[J]. Scientia Agricultura Sinica，2018，51(17)：3353-3369.

[20] ZHANG Y，CAO Y F，HUO H L，XU J Y，TIAN L M，DONG X G，QI D，LIU C. An assessment of the genetic diversity of pear (*Pyrus* L.) germplasm resources based on the fruit phenotypic traits[J]. Journal of Integrative Agriculture，2022，21(8)：2275-2290.

[21] 张莹，曹玉芬，田路明，董星光，齐丹，霍宏亮，徐家玉，刘超，王立东. 梨种质资源果实若干数量性状评价指标研究[J]. 果树学报，2023，40(6)：1053-1063.
ZHANG Ying，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，QI Dan，HUO Hongliang，XU Jiayu，LIU Chao，WANG Lidong. Evaluating standards of some fruit quantitative traits of pear genetic resources[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(6)：1053-1063.

[22] 樊丽，林盛华，王斐，王志刚，董星光，曹玉芬，李连文，方成泉. 梨栽培品种荧光 AFLP 分析[J]. 江苏农业科学，2009，37(3)：24-27.
FAN Li，LIN Shenghua，WANG Fei，WANG Zhigang，DONG Xingguang，CAO Yufen，LI Lianwen，FANG Chengquan. Fluorescence AFLP analysis in pear cultivars[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2009，37(3)：24-27.

[23] 王西成，姜淑苓，曹玉芬，张彦平，章镇，房经贵. 梨 RAPD 扩增产物两种凝胶电泳指纹特点及其序列分析[J]. 江西农业学报，2010，22(4)：1-5.
WANG Xicheng，JIANG Shuling，CAO Yufen，ZHANG Yanping，ZHANG Zhen，FANG Jinggui. Characteristics of two electrophoresis systems and sequences of RAPD amplification products of pear[J]. Acta Agriculturae Jiangxi，2010，22(4)：1-5.

[24] BAO L，CHEN K S，ZHANG D，CAO Y F，YAMAMOTO T，TENG Y W. Genetic diversity and similarity of pear (*Pyrus* L.) cultivars native to East Asia revealed by SSR (simple sequence repeat) markers[J]. Genetic Resources and Crop Evolution，2007，54(5)：959-971.

[25] CAO Y F，TIAN L M，GAO Y，YANG J，ZHANG S L. Evaluation of genetic identity and variation in cultivars of *Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai from China using microsatellite markers[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology，2011，86(4)：331-336.

[26] CAO Y F，TIAN L M，GAO Y，LIU F Z. Genetic diversity of cultivated and wild Ussurian pear (*Pyrus ussuriensis* Maxim.) in China evaluated with M13-tailed SSR markers[J]. Genetic Resources and Crop Evolution，2012，59(1)：9-17.

[27] 杨军，曹玉芬，吴俊，田路明，董星光，高源. 杜梨实生繁殖群体遗传多样性的 SSR 分析[J]. 西北植物学报，2011，31(11)：2172-2177.
YANG Jun，CAO Yufen，WU Jun，TIAN Luming，DONG Xingguang，GAO Yuan. SSR analysis of genetic diversity in germplasm resources of *Pyrus betulaefolia* Bge. and its seedling populations[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2011，31(11)：2172-2177.

[28] TIAN L M，GAO Y，CAO Y F，LIU F Z，YANG J. Identification of Chinese white pear cultivars using SSR markers[J]. Genetic Resources and Crop Evolution，2012，59(3)：317-326.

[29] 齐丹，曹玉芬，李成志，田路明，董星光，武雅娟，高洪岐，张莹，仉服春，郑灵芝. 辽宁绥中地方梨种质的 SRAP 分析[J]. 中国果树，2013(2)：14-16.
QI Dan，CAO Yufen，LI Chengzhi，TIAN Luming，DONG Xingguang，WU Yajuan，GAO Hongqi，ZHANG Ying，ZHANG Fuchun，ZHENG Lingzhi. SRAP analysis of local pear germplasm in Suizhong，Liaoning province[J]. China Fruits，2013(2)：14-16.

[30] 高源，田路明，刘凤之，曹玉芬. TP-M13-SSR 技术在梨遗传多样性研究中的应用[J]. 果树学报，2011，28(3)：394-399.
GAO Yuan，TIAN Luming，LIU Fengzhi，CAO Yufen. TP-M13-SSR technique and its applications in the analysis of genetic diversity for pear germplasm resources[J]. Journal of Fruit Science，2011，28(3)：394-399.

[31] 高源，田路明，刘凤之，曹玉芬. 利用 SSR 荧光标记构建 92 个梨品种指纹图谱[J]. 园艺学报，2012，39(8)：1437-1446.
GAO Yuan，TIAN Luming，LIU Fengzhi，CAO Yufen. Using the SSR fluorescent labeling to establish SSR fingerprints for 92 cultivars in *Pyrus*[J]. Acta Horticulturae Sinica，2012，39(8)：1437-1446.

[32] 张小双，曹玉芬，齐丹，张莹，田路明，董星光，霍宏亮，徐家玉，刘超. 秋子梨基于 SSR 荧光标记的分子身份证构建及亲缘关系分析[J]. 中国南方果树，2018，47(4)：92-98.
ZHANG Xiaoshuang，CAO Yufen，QI Dan，ZHANG Ying，TIAN Luming，DONG Xingguang，HUO Hongliang，XU Jiayu，LIU Chao. Establishment of molecular identity and genetic relationship analysis of *Pyrus ussuriensis* Maxim. accessions using fluorescent-labeled SSR markers[J]. South China Fruits，2018，47(4)：92-98.

[33] 齐丹，曹玉芬，胡红菊，张小双，田路明，董星光，张莹，霍宏亮，

徐家玉，刘超，詹俊宇，张思梦 . 中国南方 154 份梨地方品种基于 SSR 标记的遗传多样性与群体结构分析[J]. 中国南方果树，2023，52(5)：104-110.

QI Dan，CAO Yufen，HU Hongju，ZHANG Xiaoshuang，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，XU Jiayu，LIU Chao，ZHAN Junyu，ZHANG Simeng. Population structure and genetic diversity of 154 pear landraces of Southern China based on SSR marker[J]. South China Fruits，2023，52(5)：104-110.

[34] 王西成，姜淑苓，上官凌飞，曹玉芬，乔玉山，章镇，房经贵 . 梨 EST-SSR 标记的开发及其在梨品种遗传多样性分析中的应用评价[J]. 中国农业科学，2010，43(24)：5079-5087.

WANG Xicheng，JIANG Shuling，SHANGGUAN Lingfei，CAO Yufen，QIAO Yushan，ZHANG Zhen，FANG Jinggui. Development of EST-derived SSR markers for pear and evaluation of their application in pear genetic diversity analysis[J]. Scientia Agricultura Sinica，2010，43(24)：5079-5087.

[35] YAO L H，ZHENG X Y，CAI D Y，GAO Y，WANG K，CAO Y F，TENG Y W. Exploitation of *Malus* EST-SSRs and the utility in evaluation of genetic diversity in *Malus* and *Pyrus*[J]. Genetic Resources and Crop Evolution，2010，57(6)：841-851.

[36] YUE X Y，ZHENG X Y，ZONG Y，JIANG S，HU C Y，YU P Y，LIU G Q，CAO Y F，HU H J，TENG Y W. Combined analyses of chloroplast DNA haplotypes and microsatellite markers reveal new insights into the origin and dissemination route of cultivated pears native to east Asia[J]. Frontiers in Plant Science，2018，9：591.

[37] 常耀军，曹玉芬，张金梅，田路明，董星光，张莹，齐丹，郑迎春 . 基于叶绿体 DNA 分析的辽宁省梨属种质遗传多样性研究[J]. 园艺学报，2014，41(7)：1307-1316.

CHANG Yaojun，CAO Yufen，ZHANG Jinmei，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，ZHENG Yingchun. Studies on genetic diversity of pear germplasm resources in Liaoning Province of China based on chloroplast DNA analysis[J]. Acta Horticulturae Sinica，2014，41(7)：1307-1316.

[38] 张靖国，曹玉芬，陈启亮，杨晓平，范净，田瑞，胡红菊 . 基于叶绿体 DNA 变异的湖北梨属种质系统进化及遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报，2016，17(4)：766-772.

ZHANG Jingguo，CAO Yufen，CHEN Qiliang，YANG Xiaoping，FAN Jing，TIAN Rui，HU Hongju. Genetic diversty and phylogenetics of pear (*Pyrus* L.) germplasm resources from Hubei province revealed by chloroplast DNA variation[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2016，17(4)：766-772.

[39] 齐丹，曹玉芬，田路明，董星光，张莹，霍宏亮，常耀军，张小双 . 梨主栽品种叶绿体高变区 *acc*D-*psa*I 的遗传多样性研究[J]. 中国南方果树，2016，45(5)：23-28.

QI Dan，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，CHANG Yaojun，ZHANG Xiaoshuang. Genetic diversity of pear cultivars revealed by cpDNA hypervariable region *acc*D- *psa*I[J]. South China Fruits，2016，45(5)：23-28.

[40] CHANG Y J，CAO Y F，ZHANG J M，TIAN L M，DONG X G，ZHANG Y，QI D，ZHANG X S. Study on chloroplast DNA diversity of cultivated and wild pears (*Pyrus* L.) in Northern China[J]. Tree Genetics & Genomes，2017，13(2)：44.

[41] 齐丹，常耀军，曹玉芬，胡红菊，田路明，董星光，张莹，霍宏亮，徐家玉，张小双，刘超 . 基于叶绿体 DNA 信息的南方梨属种质的遗传多样性和演化分析[J]. 园艺学报，2018，45(12)：2308-2320.

QI Dan，CHANG Yaojun，CAO Yufen，HU Hongju，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，XU Jiayu，ZHANG Xiaoshuang，LIU Chao. Genetic diversity and phylogenetics of pear (*Pyrus* L.) germplasm resources from South China revealed by chloroplast DNA[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(12)：2308-2320.

[42] WAHOCHO S A，CAO Y F，XU J Y，QI D，WAHOCHO N A，GUL H，DONG X G，TIAN L M，HUO H L，LIU C，BACHA S A S，ZHANG Y，AZEEM M. Origin and dissemination route of pear accessions from Western China to abroad based on combined analysis of SSR and cpDNA markers[J]. Genetic Resources and Crop Evolution，2020，67(1)：107-128.

[43] 齐丹，曹玉芬，胡红菊，王超，常耀军，田路明，董星光，张莹，霍宏亮，徐家玉，刘超，詹俊宇 . 基于叶绿体 DNA *acc*D-*psa*I 序列分析的广西梨地方品种遗传多样性研究[J]. 中国南方果树，2019，48(3)：91-93.

QI Dan，CAO Yufen，HU Hongju，WANG Chao，CHANG Yaojun，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，XU Jiayu，LIU Chao，ZHAN Junyu. Genetic diversity of pear landraces in Guangxi based on DNA *acc*D- *psa*I sequences of chloroplast[J]. South China Fruits，2019，48(3)：91-93.

[44] 詹俊宇，曹玉芬，齐丹，田路明，董星光，张莹，霍宏亮，徐家玉，刘超，张思梦，王超 . 基于 cpDNA 变异对中国梨野生资源的遗传多样性研究[J]. 中国果树，2020(2)：72-75.

ZHAN Junyu，CAO Yufen，QI Dan，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，XU Jiayu，LIU Chao，ZHANG Simeng，WANG Chao. Study on the diversity of Chinese pear wild resources based on cpDNA[J]. China Fruits，2020(2)：72-75.

[45] 谭晓风，乌云塔娜，中西テッ，李秀根，曹玉芬，杨谷良 . 中国梨品种自交不亲和新基因的分离鉴定[J]. 中南林学院学报，2005，25(1)：1-3.

TAN Xiaofeng，WUYUN Tana，NAKANIXI Testu，LI Xiugen，CAO Yufen，YANG Guliang. Isolation and identification of S_{19}-RNase gene of the *Pyrus bretschneideri* (Chinese pear)[J]. Journal of Central South Forestry University，2005，25(1)：1-3.

[46] 乌云塔娜，谭晓风，毕方铖，曹玉芬，李秀根 . 中国白梨 S 基因研究：Ⅰ 7 个品种 S 基因型的确定和 2 个新 S 基因的鉴定[J]. 中南林学院学报，2005，25(4)：7-12.

WUYUN Tana，TAN Xiaofeng，BI Fangcheng，CAO Yufen，LI Xiugen. Studies of Chinese pear S- gene：Ⅰ determination of 7 cultivars of the S-genotype and identification of two new allele of self- incompatibility of *Pyrus bretschneideri* (Chinese pear) [J]. Journal of Central South Forestry University，2005，25(4)：7-12.

[47] 乌云塔娜，谭晓风，曹玉芬，李秀根 . 白梨新 S 基因的克隆[J]. 园艺学报，2006，33(2)：385-388.
WUYUN Tana，TAN Xiaofeng，CAO Yufen，LI Xiugen. Cloning of a new self-incompatibility S-allele in white pear (*Pyrus bretschneideri*) [J]. Acta Horticulturae Sinica，2006，33(2)：385-388.

[48] 乌云塔娜，谭晓风，曹玉芬，张林，邓建军 . 白梨品种 4 个新 S 基因的分离与鉴定[J]. 园艺学报，2007，34(4)：859-864.
WUYUN Tana，TAN Xiaofeng，CAO Yufen，ZHANG Lin，DENG Jianjun. Isolation and identification of four new S-RNase genes of white pear (*Pyrus bretschneideri*) [J]. Acta Horticulturae Sinica，2007，34(4)：859-864.

[49] 梁文杰，谭晓风，张琳，曾艳玲，姜傲芳，曹玉芬，李秀根 . 8 个中国梨品种 S 基因型的分子鉴定[J]. 果树学报，2007，24(6)：757-760.
LIANG Wenjie，TAN Xiaofeng，ZHANG Lin，ZENG Yanling，JIANG Aofang，CAO Yufen，LI Xiugen. Molecular identification of S-genotypes of Chinese pear cultivars[J]. Journal of Fruit Science，2007，24(6)：757-760.

[50] 袁德义，谭晓风，张琳，赵思东，乌云塔娜，段经华，曹玉芬 . 新高系梨 10 个品种 S 基因型的鉴定[J]. 园艺学报，2007，34(6)：1353-1360.
YUAN Deyi，TAN Xiaofeng，ZHANG Lin，ZHAO Sidong，WUYUN Tana，DUAN Jinghua，CAO Yufen. Identification of S-genotype of ten cultivars from Niitaka line pear[J]. Acta Horticulturae Sinica，2007，34(6)：1353-1360.

[51] TAN X F，ZHANG L，WUYUN T N，YUAN D Y，CAO Y F，JIANG A F，LIANG W J，ZENG Y L. Molecular identification of two new self- incompatible alleles (S- alleles) in Chinese pear (*Pyrus bretschneideri*) [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology，2007，33(1)：61-70.

[52] QI Y J，WU H Q，CAO Y F，WU J，TAO S T，ZHANG S L. Heteroallelic diploid pollen led to self- compatibility in tetraploid cultivar‘Sha 01’(*Pyrus sinkiangensis* Yü)[J]. Tree Genetics & Genomes，2011，7(4)：685-695.

[53] HENG W，WU J，WU H Q，CAO Y F，NISHIO T，ZHANG S L. Recognition specificity of self-incompatibility in *Pyrus* and *Malus*[J]. Molecular Breeding，2011，28(4)：549-557.

[54] 袁江，张绍铃，曹玉芬，吴俊，田路明，陶书田，董星光 . 梨果实酚类物质与酶促褐变底物的研究[J]. 园艺学报，2011，38(1)：7-14.
YUAN Jiang，ZHANG Shaoling，CAO Yufen，WU Jun，TIAN Luming，TAO Shutian，DONG Xingguang. Polyphenolic compound and substances determination of enzymatic browning in pear[J]. Acta Horticulturae Sinica，2011，38(1)：7-14.

[55] 肖长城，李甲明，姚改芳，刘军，胡红菊，曹玉芬，张绍铃，吴俊 . 不同红梨品种果皮中花色素苷组分及含量特征分析[J]. 南京农业大学学报，2014，37(4)：60-66.
XIAO Changcheng，LI Jiaming，YAO Gaifang，LIU Jun，HU Hongju，CAO Yufen，ZHANG Shaoling，WU Jun. Characteristics of components and contents of anthocyanin in peel of red-skinned pear fruits from different species[J]. Journal of Nanjing Agricultural University，2014，37(4)：60-66.

[56] 李静，聂继云，曹玉芬，李志霞，闫震，毋永龙 . 砀山酥梨和秋白梨酚类物质 UPLC-PDA-MS/MS-ESI 分析[J]. 园艺学报，2016，43(4)：752-762.
LI Jing，NIE Jiyun，CAO Yufen，LI Zhixia，YAN Zhen，WU Yonglong. UPLC-PDA-MS/MS-ESI analysis of phenolic compounds in fruits of Dangshan suli and qiubaili pears (*Pyrus bretschneideri*)[J]. Acta Horticulturae Sinica，2016，43(4)：752-762.

[57] 张小双，郑迎春，曹玉芬，田路明，董星光，张莹，齐丹，霍宏亮 .‘早酥’和‘南果梨’16 个部位多酚物质组成及含量分析[J]. 中国农业科学，2017，50(3)：545-555.
ZHANG Xiaoshuang，ZHENG Yingchun，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，HUO Hongliang. The composition and content of polyphenols in 16 parts of‘Zaosu’and‘Nanguoli’[J]. Scientia Agricultura Sinica，2017，50(3)：545-555.

[58] 郑迎春，李静，曹玉芬，田路明，董星光，张莹，齐丹，常耀军 . 梨叶片中 9 种多酚类物质的 UPLC 测定方法[J]. 果树学报，2015，32(6)：1258-1266.
ZHENG Yingchun，LI Jing，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，CHANG Yaojun. Development and validation of a UPLC method for 9 polyphenols determination in pear leaves[J]. Journal of Fruit Science，2015，32(6)：1258-1266.

[59] 郑迎春，曹玉芬，李静，田路明，董星光，张莹，齐丹，常耀军 . 梨叶多酚提取的正交试验优化及其成分测定[J]. 食品科学，2015，36(20)：32-36.
ZHENG Yingchun，CAO Yufen，LI Jing，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，CHANG Yaojun. Optimization of extraction of pear leaf polyphenols by orthogonal array design and polyphenol composition analysis[J]. Food Science，2015，36(20)：32-36.

[60] DONG X G，ZHENG Y C，CAO Y F，TIAN L M，ZHANG Y，QI D，HUO H L，WANG D J. Evaluation of phenolic composition and content of pear varieties in leaves from China[J]. Erwerbs-Obstbau，2018，60(4)：331-340.

[61] 曹玉芬 . 梨种质资源亲缘关系分析及类黄酮遗传多样性研究[D]. 南京：南京农业大学，2011.
CAO Yufen. Analysis of genetic relationship and flavonoid diversity of pear germplasm resources[D]. Nanjing：Nanjing Agricultural University，2011.

[62] 殷晨，田路明，曹玉芬，董星光，张莹，霍宏亮，齐丹，徐家玉，刘超 . 梨果实糖酸研究进展[J]. 果树学报，2023，40(12)：2610-2623.
YIN Chen，TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao.

Research progress in sugar and acid in pear fruit[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(12)：2610-2623.

[63] 姚改芳，张绍铃，曹玉芬，刘军，吴俊，袁江，张虎平，肖长城．不同栽培种梨果实中可溶性糖组分及含量特征[J]. 中国农业科学，2010，43(20)：4229-4237.
YAO Gaifang，ZHANG Shaoling，CAO Yufen，LIU Jun，WU Jun，YUAN Jiang，ZHANG Huping，XIAO Changcheng. Characteristics of components and contents of soluble sugars in pear fruits from different species[J]. Scientia Agricultura Sinica，2010，43(20)：4229-4237.

[64] 姚改芳，张绍铃，吴俊，曹玉芬，刘军，韩凯，杨志军．10 个不同系统梨品种的可溶性糖与有机酸组分含量分析[J]. 南京农业大学学报，2011，34(5)：25-31.
YAO Gaifang，ZHANG Shaoling，WU Jun，CAO Yufen，LIU Jun，HAN Kai，YANG Zhijun. Analysis of components and contents of soluble sugars and organic acids in ten cultivars of pear by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Nanjing Agricultural University，2011，34(5)：25-31.

[65] 姚改芳，杨志军，张绍铃，曹玉芬，刘军，吴俊．梨不同栽培种果实有机酸组分及含量特征分析[J]. 园艺学报，2014，41(4)：755-764.
YAO Gaifang，YANG Zhijun，ZHANG Shaoling，CAO Yufen，LIU Jun，WU Jun. Characteristics of components and contents of organic acid in pear fruits from different cultivated species[J]. Acta Horticulturae Sinica，2014，41(4)：755-764.

[66] 李甲明，杨志军，张绍铃，黄小三，曹玉芬，吴俊．不同梨品种果实有机酸含量变化与相关酶活性的研究[J]. 西北植物学报，2013，33(10)：2024-2030.
LI Jiaming，YANG Zhijun，ZHANG Shaoling，HUANG Xiaosan，CAO Yufen，WU Jun. Change of organic acid contents and related enzyme activities in different pear cultivars[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2013，33(10)：2024-2030.

[67] 王德孚，杨志军，孙江妹，曹玉芬，黄小三，张绍铃，吴俊．梨不同品种果实可溶性糖积累差异及代谢相关酶活性[J]. 果树学报，2014，31(1)：30-38.
WANG Defu，YANG Zhijun，SUN Jiangmei，CAO Yufen，HUANG Xiaosan，ZHANG Shaoling，WU Jun. Difference in soluble sugar accumulation and related enzyme activity of fruits among different pear cultivars[J]. Journal of Fruit Science，2014，31(1)：30-38.

[68] YIN C，TIAN L M，LI J，CAO Y F，DONG X G，ZHANG Y，QI D. Dynamic analysis of UPLC-MS/MS for sugar and organic acid components of pears with different flesh texture types during development[J]. Agronomy，2024，14(11)：2494.

[69] 殷晨，田路明，徐钰清，曹玉芬，董星光，刘超．不同类型梨果肉质地发育动态比较分析[J]. 山西农业大学学报（自然科学版），2025，45(1)：73-84.
YIN Chen，TIAN Luming，XU Yuqing，CAO Yufen，DONG Xingguang，LIU Chao. Comparative analysis of dynamic development of flesh texture in different types of pear fruits[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)，2025，45(1)：73-84.

[70] 安萌萌，王艳廷，宋杨，冀晓昊，刘畅，王楠，吴玉森，刘文，曹玉芬，冯守千，陈学森．野生秋子梨（*Pyrus ussuriensis* Maxim.）果实性状的遗传多样性[J]. 中国农业科学，2014，47(15)：3034-3043.
AN Mengmeng，WANG Yanting，SONG Yang，JI Xiaohao，LIU Chang，WANG Nan，WU Yusen，LIU Wen，CAO Yufen，FENG Shouqian，CHEN Xuesen. Genetic diversity of fruit phenotypic traits of wild *Pyrus ussuriensis* Maxim.[J]. Scientia Agricultura Sinica，2014，47(15)：3034-3043.

[71] 刘妮，陶书田，张绍铃，曹玉芬，吴华清，王纪忠，伍涛．授粉品种对'库尔勒香梨'果实萼片宿存及品质的影响[J]. 南京农业大学学报，2011，34(3)：43-47.
LIU Ni，TAO Shutian，ZHANG Shaoling，CAO Yufen，WU Huaqing，WANG Jizhong，WU Tao. Effect of different pollinizer varieties on calyx retention and quality for 'Kuerlexiangli' fruit[J]. Journal of Nanjing Agricultural University，2011，34(3)：43-47.

[72] 姜彦辰，曹玉芬，张绍铃，伍涛，田路明，董星光．人工剪萼对莱阳慈梨果实品质及石细胞形成相关酶活性的影响[J]. 果树学报，2010，27(6)：877-881.
JIANG Yanchen，CAO Yufen，ZHANG Shaoling，WU Tao，TIAN Luming，DONG Xingguang. Effects of excision of fruit calyx on fruit quality，sclereid and the activities of related enzymes in *Pyrus bretschneideri* cv. Laiyang Cili[J]. Journal of Fruit Science，2010，27(6)：877-881.

[73] 徐钰清，田路明，曹玉芬，董星光，张莹，霍宏亮，齐丹，徐家玉，刘超．梨果肉质地及香气研究进展[J]. 果树学报，2023，40(4)：757-770.
XU Yuqing，TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao. Research progress in flesh texture and aroma of pears[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(4)：757-770.

[74] 康秀，乌云塔娜，曹玉芬，田路明．秋子梨品种完熟果实的香气成分分析[J]. 湖南林业科技，2010，37(2)：1-4.
KANG Xiu，WUYUN Tana，CAO Yufen，TIAN Luming. Analysis of aroma components in ripe fruits of *Pyrus ussuriensis*[J]. Hunan Forestry Science & Technology，2010，37(2)：1-4.

[75] 乌云塔娜，蒋贺喜格，康秀．中国秋子梨品种果实香气成分比较分析[J]. 中国南方果树，2015，44(3)：103-107.
WUYUN Tana，JIANG Hexige，KANG Xiu. Comparative analysis of aroma components in *Pyrus ussuriensis* fruit[J]. South China Fruits，2015，44(3)：103-107.

[76] QIN G H，TAO S T，CAO Y F，WU J Y，ZHANG H P，HUANG W J，ZHANG S L. Evaluation of the volatile profile of 33 *Pyrus ussuriensis* cultivars by HS-SPME with GC-MS[J]. Food Chemistry，2012，134(4)：2367-2382.

[77] XU Y Q，GAO G W，TIAN L M，CAO Y F，DONG X G，HUO H L，QI D，ZHANG Y，XU J Y，LIU C. Changes of volatile organic

compounds of different flesh texture pears during shelf life based on headspace solid-phase microextraction with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Foods，2023，12(23)：4224.

[78] 曹玉芬，田路明，李六林，高源．梨品种果肉石细胞含量比较研究[J]. 园艺学报，2010，37(8)：1220-1226.
CAO Yufen，TIAN Luming，LI Liulin，GAO Yuan. Comparison studies on the stone cell content in flesh of pear cultivars[J]. Acta Horticulturae Sinica，2010，37(8)：1220-1226.

[79] 田路明，曹玉芬，高源，董星光．梨品种果肉石细胞团大小对果肉质地的影响[J]. 园艺学报，2011，38(7)：1225-1234.
TIAN Luming，CAO Yufen，GAO Yuan，DONG Xingguang. Effect of stone cells size and flesh texture in pear cultivars[J]. Acta Horticulturae Sinica，2011，38(7)：1225-1234.

[80] 田路明，曹玉芬，董星光，张莹．梨野生种石细胞团含量及直径大小的比较[J]. 江苏农业科学，2014，42(1)：135-137.
TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang，ZHANG Ying. Comparison of the mass content and diameter of stone cells in wild pear species[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2014，42(1)：135-137.

[81] 田路明，董星光，曹玉芬，张莹，齐丹．梨属植物果肉和石细胞团木质素相关性分析[J]. 西南农业学报，2017，30(9)：2091-2096.
TIAN Luming，DONG Xingguang，CAO Yufen，ZHANG Ying，QI Dan. Correlation of flesh in *Pyrus* fruit with its stone cells lignin[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences，2017，30(9)：2091-2096.

[82] 徐钰清，田路明，曹玉芬，董星光，张莹，霍宏亮，齐丹，徐家玉，刘超．7个梨品种不同熟期果肉质地评价分析[J]. 果树学报，2023，40(10)：2112-2123.
XU Yuqing，TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang，ZHANG Ying，HUO Hongliang，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao. Evaluation of flesh texture of seven pear varieties at different ripening stages[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(10)：2112-2123.

[83] 徐钰清，田路明，曹玉芬，董星光，齐丹，霍宏亮．6个梨品种冷藏后不同货架期果肉质地评价分析[J]. 中国果树，2024(9)：14-23.
XU Yuqing，TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang，QI Dan，HUO Hongliang. Evaluation and analysis of flesh texture of six pear varieties with different shelf life after cold storage[J]. China Fruits，2024(9)：14-23.

[84] 霍宏亮，曹玉芬，田路明，董星光，张莹，齐丹，张小双．不同梨品种果胶含量与品质特性相关性研究[J]. 保鲜与加工，2016，16(6)：111-115.
HUO Hongliang，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，ZHANG Xiaoshuang. Study on the correlation between pectin content and fruit quality of different varieties of pears[J]. Storage and Process，2016，16(6)：111-115.

[85] 霍宏亮，曹玉芬，徐家玉，田路明，董星光，张莹，齐丹，刘超．秋子梨果胶含量与果肉硬度的相关性研究[J]. 经济林研究，2018，36(4)：47-51.
HUO Hongliang，CAO Yufen，XU Jiayu，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，LIU Chao. Correlation analysis between pectin content and sarcocarp hardness of *Pyrus ussuriensis* fruits[J]. Non-wood Forest Research，2018，36(4)：47-51.

[86] XU J Y，ZHANG Y，QI D，HUO H L，DONG X G，TIAN L M，ZHANG X S，LIU C，CAO Y F. Postharvest metabolomic changes in *Pyrus ussuriensis* Maxim. wild accession 'Zaoshu Shanli'[J]. Journal of Separation Science，2018，41(21)：4001-4013.

[87] XU J Y，ZHANG Y，QI D，HUO H L，DONG X G，TIAN L M，LIU C，CAO Y F. Metabolomic and transcriptomic analyses highlight the influence of lipid changes on the post-harvest softening of *Pyrus* ussurian Max. 'Zaoshu Shanli'[J]. Genomics，2021，113(1 Pt 2)：919-926.

[88] 王超，霍宏亮，田路明，董星光，齐丹，徐家玉，刘超，张思梦，杨祥，郭瑞，曹玉芬．3种梨野生砧木资源叶片抗氧化酶活性分析[J]. 果树学报，2021，38(5)：646-654.
WANG Chao，HUO Hongliang，TIAN Luming，DONG Xingguang，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao，ZHANG Simeng，YANG Xiang，GUO Rui，CAO Yufen. Analysis of antioxidant enzyme activity in the leaves of 3 species of *Pyrus* as rootstock[J]. Journal of Fruit Science，2021，38(5)：646-654.

[89] 霍宏亮，王超，杨祥，曹玉芬，田路明，董星光，张莹，齐丹，徐家玉，刘超．杜梨对盐碱胁迫的生理响应及耐盐碱性评价[J]. 植物遗传资源学报，2022，23(2)：480-492.
HUO Hongliang，WANG Chao，YANG Xiang，CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao. Physiological response and saline-alkali tolerance evaluation of *Pyrus betulifolia* resources under saline-alkali stress[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2022，23(2)：480-492.

[90] DONG X G，WANG Z，TIAN L M，ZHANG Y，QI D，HUO H L，XU J Y，LI Z，LIAO R，SHI M，ALI WAHOCHO S，LIU C，ZHANG S M，TIAN Z X，CAO Y F. *De novo* assembly of a wild pear (*Pyrus betuleafolia*) genome[J]. Plant Biotechnology Journal，2020，18(2)：581-595.

[91] ZHANG S M，XU J Y，ZHANG Y，CAO Y F. Identification and characterization of *ABCG15*-a gene required for exocarp color differentiation in pear[J]. Genes，2023，14(9)：1827.

[92] QI Y J，SHAN D，CAO Y F，MA N，LU L Q，TIAN L M，FENG Z，KE F J，JIAN J B，GAO Z H，XU Y L. Telomere-to-telomere genome assembly of two representative Asian and European pear cultivars[J]. Scientific Data，2024，11(1)：1170.

[93] 袁江，张绍铃，吴俊，曹玉芬，伍涛，田路明，姚改芳．砂梨制汁特性及适应性评价[J]. 果树学报，2009，26(6)：797-803.
YUAN Jiang，ZHANG Shaoling，WU Jun，CAO Yufen，WU Tao，TIAN Luming，YAO Gaifang. Study on the fruit characteristics suitable for juice processing of pear cultivars belonging to *Pyrus* pyrifolia[J]. Journal of Fruit Science，2009，26(6)：797-803.

[94] 袁江，张绍铃，吴俊，曹玉芬，田路明，伍涛，姚改芳．梨栽培品

种果汁理化特性及制汁适宜性研究[J]. 江西农业学报，2010，22(1)：45-49.
YUAN Jiang，ZHANG Shaoling，WU Jun，CAO Yufen，TIAN Luming，WU Tao，YAO Gaifang. Study on physical/chemical characteristics of fruit juice and suitability of pear cultivars for juice processing[J]. Acta Agriculturae Jiangxi，2010，22(1)：45-49.

[95] 曹玉芬，田路明，董星光，张莹 . 适宜鲜榨汁的梨品种[J]. 中国南方果树，2011，40(6)：81-82.
CAO Yufen，TIAN Luming，DONG Xingguang，ZHANG Ying. Suitable pear varieties used for fresh juice[J]. South China Fruits，2011，40(6)：81-82.

[96] 杨祥，霍宏亮，郭瑞，董星光，田路明，刘超，齐丹，张思梦，徐家玉，聂晗宇，曹玉芬 . 梨种质需冷量与需热量研究[J]. 果树学报，2022，39(7)：1213-1220.
YANG Xiang，HUO Hongliang，GUO Rui，DONG Xingguang，TIAN Luming，LIU Chao，QI Dan，ZHANG Simeng，XU Jiayu，NIE Hanyu，CAO Yufen. Study on chilling and heat requirements of pear germplasm resources[J]. Journal of Fruit Science，2022，39(7)：1213-1220.

[97] QI X X，WU J，WANG L F，LI L T，CAO Y F，TIAN L M，DONG X G，ZHANG S L. Identifying the candidate genes involved in the calyx abscission process of ‘Kuerlexiangli’ (*Pyrus sinkiangensis* Yu) by digital transcript abundance measurements[J]. BMC Genomics，2013，14(1)：727.

[98] 刘超，霍宏亮，田路明，董星光，齐丹，张莹，徐家玉，曹玉芬 . 基于 MaxEnt 模型不同气候变化情景下的豆梨潜在地理分布[J]. 应用生态学报，2018，29(11)：3696-3704.
LIU Chao，HUO Hongliang，TIAN Luming，DONG Xingguang，QI Dan，ZHANG Ying，XU Jiayu，CAO Yufen. Potential geographical distribution of *Pyrus calleryana* under different climate change scenarios based on the MaxEnt model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2018，29(11)：3696-3704.

[99] 刘超，霍宏亮，田路明，董星光，徐家玉，齐丹，张莹，曹玉芬 . 不同气候情景下木梨潜在地理分布格局变化的预测[J]. 应用生态学报，2020，31(12)：4073-4079.
LIU Chao，HUO Hongliang，TIAN Luming，DONG Xingguang，XU Jiayu，QI Dan，ZHANG Ying，CAO Yufen. Prediction of potential geographical distribution patterns of *Pyrus xerophila* under different climate scenarios[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2020，31(12)：4073-4079.

[100] 刘超，董星光，田路明，霍宏亮，徐家玉，齐丹，张莹，张思梦，杨祥，郭瑞，聂晗宇，曹玉芬 . 基于 Maxent 模型的川梨不同时期潜在分布研究[J]. 果树学报，2022，39(11)：2056-2063.
LIU Chao，DONG Xingguang，TIAN Luming，HUO Hongliang，XU Jiayu，QI Dan，ZHANG Ying，ZHANG Simeng，YANG Xiang，GUO Rui，NIE Hanyu，CAO Yufen. Prediction of the potentially geographical distribution of *Pyrus pashia* under different climate conditions based on Maxent modele[J]. Journal of Fruit Science，2022，39(11)：2056-2063.

[101] 田路明，曹玉芬，董星光 . 苹果梨及其育种利用价值[J]. 中国果树，2010(1)：60-62.
TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang. Pingguo pear and its breeding and utilization value[J]. China Fruits，2010(1)：60-62.

[102] 田路明，曹玉芬，董星光 . 二十世纪梨"家族"资源及其育种价值[J]. 中国南方果树，2010，39(2)：62-65.
TIAN Luming，CAO Yufen，DONG Xingguang. Twenty-century pear "family" resources and its breeding value[J]. South China Fruits，2010，39(2)：62-65.

[103] 李树玲，曹玉芬，黄礼森，杨有龙 . 四倍体沙 01 梨 F_1 代染色体数目鉴定[J]. 天津农学院学报，2000，7(3)：1-5.
LI Shuling，CAO Yufen，HUANG Lisen，YANG Youlong. Observation on chromosome number of F_1 hybrid progeny of tetraploid pear cultivar ‘Sha 01’[J]. Journal of Tianjin Agricultural College，2000，7(3)：1-5.

[104] 董星光，曹玉芬，张莹，田路明，霍宏亮，齐丹，徐家玉，刘超，王立东 . 抗寒脆肉梨新品种‘玉翠香’[J]. 园艺学报，2022，49(增刊 2)：5-6.
DONG Xingguang，CAO Yufen，ZHANG Ying，TIAN Luming，HUO Hongliang，QI Dan，XU Jiayu，LIU Chao，WANG Lidong. A new cold-resistant crispy pear cultivar ‘Yucuixiang’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2022，49(Suppl. 2)：5-6.

[105] 徐家玉，曹玉芬，张莹，霍宏亮，齐丹，董星光，田路明，刘超，王立东 . 梨新品种‘中梨京红’[J]. 园艺学报，2024，51(增刊 1)：21-22.
XU Jiayu，CAO Yufen，ZHANG Ying，HUO Hongliang，QI Dan，DONG Xingguang，TIAN Luming，LIU Chao，WANG Lidong. A new pear cultivar ‘Zhongli Jinghong’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2024，51(Suppl. 1)：21-22.

[106] 董星光，田路明，曹玉芬，张莹 . 我国南方优势产区梨品种主要品质性状评价[J]. 西南农业学报，2012，25(5)：1811-1817.
DONG Xingguang，TIAN Luming，CAO Yufen，ZHANG Ying. Early pear variety survey and evaluation in the south of China[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences，2012，25(5)：1811-1817.

[107] 董星光，田路明，曹玉芬，张莹，齐丹 . 我国南方砂梨主产区主栽品种果实品质因子分析及综合评价[J]. 果树学报，2014，31(5)：815-822.
DONG Xingguang，TIAN Luming，CAO Yufen，ZHANG Ying，QI Dan. Factor analysis and comprehensive evaluation of fruit quality in cultivars of *Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai from south China[J]. Journal of Fruit Science，2014，31(5)：815-822.

[108] 田路明，董星光，曹玉芬，张莹，齐丹 . 北方优势产区梨品种果实品质评价[J]. 中国果树，2014(5)：26-32.
TIAN Luming，DONG Xingguang，CAO Yufen，ZHANG Ying，QI Dan. Fruit quality evaluation of pear varieties in northern China of dominant producing areas[J]. China Fruits，2014(5)：26-32.