果 树 学 报 2021,38(1):128-141
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20200300

新种质创造支撑果品产业升级
——红肉苹果和‘库尔勒香梨’种质资源利用以及‘红富士’芽变选种案例分析

陈学森[1],李秀根[2],毛志泉[1],王 楠[1],张宗营[1],马锋旺[3],丛佩华[4],张玉刚[5],郭黄萍[6],王志刚[7],姜召涛[8],徐月华[9]

([1]山东农业大学园艺科学与工程学院•作物生物学国家重点实验室,山东泰安 271018;[2]中国农业科学院郑州果树研究所,郑州 450009;[3]西北农林科技大学园艺学院•旱区作物逆境生物学国家重点实验室,陕西杨凌 712100;[4]中国农业科学院果树研究所•农业部园艺作物种质资源利用重点实验室,辽宁兴城 125100;[5]青岛农业大学园艺学院,山东青岛266109;[6]山西农业科学院果树研究所,山西太谷 030800;[7]山东省果茶技术推广站,山东济南250013;[8]烟台市果茶工作站,山东烟台 264001;[9]蓬莱市果树工作总站,山东蓬莱 265600)

摘 要:种质资源评价挖掘和创新利用是现代农业的重要特征。新疆是苹果等多种落叶果树起源演化中心,种质资源极为丰富。笔者系统介绍了近几年来在新疆红肉苹果和‘红富士’以及‘库尔勒香梨’资源评价挖掘和创新利用方面的研究进展,主要包括红肉和红皮苹果育种理论与技术创新、新品种培育和配套技术研发以及优质、耐贮、晚熟梨新品种创制,为苹果和梨产业升级提供了重要支撑。

关键词:苹果;梨;资源利用;红肉与红皮苹果品种;优质、耐贮、晚熟梨品种

中图分类号:S66 **文献标志码**:A **文章编号**:1009-9980(2021)01-0128-14

Fruit industry upgrading supported by new germplasm creation: Case study on the utilization of germplasm resources of red-fleshed apple and ‘Kuerlexiangli’ pear and the sports selection of ‘Red Fuji’

CHEN Xuesen[1], LI Xiugen[2], MAO Zhiquan[1], WANG Nan[1], ZHANG Zongying[1], MA Fengwang[3], CONG Peihua[4], ZHANG Yugang[5], GUO Huangping[6], WANG Zhigang[7], JIANG Zhaotao[8], XU Yuehua[9]

(*[1]College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, Shandong, China; [2]Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; [3]College of Horticulture, Northwest A&F University/State Key Laboratory of Crop Stress Biology For Arid Areas, Yangling 712100, Shaanxi, China; [4]Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Horticultural Crop Germplasm Resources Utilization, Xingcheng 125100, Liaoning, China; [5]College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, Shandong, China; [6]Research Institute of Pomology, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taigu 030800, Shanxi, China; [7]Shandong Fruit-Tea Technology Promotion Station, Jinan 250013, Shandong, China; [8]Yantai Fruit-Tea Technology Promotion Station, Yantai 264001, Shandong, China; [9]Fruit Tree Work Station of Penglai, Penglai 265600, Shandong, China*)

Abstract: Evaluation, mining and innovative utilization of germplasm resources are important features of modern agriculture. Xinjiang, China, is the origin and evolution center of many deciduous fruit trees such as apples, and has extremely rich germplasm resources. This review systematically introduces the research progress in the resource evaluation, mining and innovative utilization of *Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*, ‘Red Fuji’, and ‘Kuerlexiangli’ pear resources in Xinjiang in recent years. The main contents of this review include the theory and technology innovation of red-fleshed and red-skinned apple breeding, new varieties cultivation and matching technology research and development of supporting technologies, and the creation of new varieties of high-quality, storage-resistant and late-maturing

收稿日期:2020-07-16 接受日期:2020-12-21

基金项目:国家自然科学基金重点项目(31730080);山东省泰山学者攀登计划项目(No. tspd20161005)

作者简介:陈学森,男,教授,研究方向为果树种质资源与遗传育种。Tel:0538-8249338,E-mail:chenxs@sdau.edu.cn

pears. These results provide important support for the upgrading of the apple and pear industry.

Key words: Apple; Pear; Resource utilization; Red-fleshed and red-skinned apple; High-quality, storage-resistant and late-maturing pear varieties

种质资源评价挖掘和创新利用是现代农业的重要特征。新疆是苹果等多种落叶果树起源演化中心，种质资源极为丰富。近几年来，围绕新疆红肉苹果和‘红富士’以及‘库尔勒香梨’资源评价挖掘和创新利用，在育种理论创新、育种方法突破、新种质创造以及三者共同作用推动苹果和梨产业升级方面取得了重要进展[1-2]。

1　‘红富士’及新疆红肉苹果资源评价挖掘及特色种质创新与应用

“医食同源，吃营养，吃健康”已经成为人们的共识[3]。苹果耐贮性好，供应周期长，果实含有较高比例的、人体比较容易吸收的游离多酚，具有很好的抗氧化、抗肿瘤、预防心脑血管疾病及保肝等作用，营养保健价值高，有“一天一苹果，医生远离我”的美誉，世界上相当多的国家都将其列为主要消费果品而大力推荐[4]。

苹果是我国落叶果树的第一大水果，苹果野生种数量、栽培面积与产量均占世界的50%以上，是世界上最大的苹果资源、生产和消费国，年产总值达2 100亿元，是增加农民收入的支柱产业[5]。但我国苹果产业缺乏鲜食品质优良、易着色可免套袋的高类黄酮苹果（红肉）等特色多样化品种，缺乏对新疆野苹果资源的挖掘利用，育种周期长；主栽品种‘红富士’着色等性状有待改良，传统芽变选种缺乏科学性；缺乏针对老果园更新、主产区干旱瘠薄、劳动力成本高等问题的配套技术，阻碍了新品种的快速推广应用。上述问题制约了我国苹果产业品种结构优化调整及提质增效。因此，以‘红富士’及新疆红肉苹果资源评价挖掘与创新利用为研究重点，以高类黄酮（红肉与红皮）为主线，采用“理论与技术创新并重及良种良法配套”的研究思路，取得了“理论、技术、品种和产品”的系统创新成果[6]。

1.1　红肉苹果育种理论和技术创新及新品种培育

1.1.1　*栽培苹果起源演化*　栽培苹果的起源演化倍受关注，相关研究大体上分为三个阶段，2009年以前国内外的研究认为，新疆地区的塞威士苹果（*Malus sieversii*）、欧洲森林苹果（*M. sylvestris*）及东方苹果（*M. orientalis*）均可能是栽培苹果的祖先种，而2010年的苹果全基因组测序证实了塞威士苹果（*M. sieversii*）是栽培苹果的祖先种，2017年的苹果基因组重测序研究发现，在新疆野苹果和西洋栽培苹果2个种漫长的进化历程中，QTL gwa_w1和多个miRNA172对果实增大起到了关键作用，进一步明确了塞威士苹果（*M. sieversii*）就是世界栽培苹果的祖先种[7-9]。

1.1.2　*新疆野苹果生存现状及遗传多样性评价与核心种质构建*　新疆野苹果（*M. sieversii*）是伊犁野果林的建群种，也是世界栽培苹果的祖先种；经过60年（1959—2018年）的跟踪调查，新疆野苹果资源的遗传多样性遭到严重破坏，生存现状受到严重威胁；1959年野苹果林面积曾达9 300 hm^2，2005年不足1 800 hm^2，野苹果林面积急剧减少；2005年调查发现，新疆野苹果果实形态多样性极为丰富，具有栽培苹果的典型特征；2018年8月，笔者应中央电视台“影响世界的中国植物——新疆野苹果”纪录片摄制组的邀请，来到新疆伊犁巩留县莫合新疆野苹果林进行现场拍摄。工作之余，对野果林的生存现状进行调查发现，与2005年相比，不仅野苹果的株数大约减少60%以上，已很难见到成方连片的野果林，而且不同单株的果实大小、颜色基本一致，均为小型绿果，果实形态多样性极差。

研究发现，农田开垦、过度放牧、繁育体系正被破坏、乱砍乱伐、苹果小吉丁虫的传播与蔓延及生态系统的退化是导致新疆野苹果资源濒临灭绝的主要原因[10]；为加强资源的保护与利用，开展了群体遗传结构分析与原生境保护[11-12]、核心种质构建与异地建圃保存[13-15]、离体器官建库保存[16]及挥发性物质、糖、酸和酚类化合物组分遗传多样性评价与利用保存的研究[17-20]，旨在建立新疆野苹果资源多层次的保护保存技术体系。研究结果表明，新疆野苹果果实酚类化合物和有机酸含量极显著地高于栽培品种，特有香气成分多。因此，从新疆红肉苹果杂种后代中能够选育出酚类化合物含量高、糖酸比适当、鲜食品质优良、香味独特的高类黄酮（红肉）苹果新品种。

1.1.3 杂种分离群体构建及高类黄酮苹果优异种质CSR6R6的创制 研究发现，新疆红肉苹果[*Malus sieversii* f. *neidzwetzkyana*（Dieck）Langenf]MsMYB10转录因子不受组织器官、发育时期及环境等因素的影响，具有组成型表达特性，没有时空特异性，但属ACS1-1/-1纯合的乙烯敏感型（红肉、绵肉）[21]；苹果果实属于呼吸跃变型，但不同的品种之间存在显著差异，而‘红富士’属ACS1-2/-2纯合的乙烯迟钝型（白肉、脆肉）；为此，率先构建了新疆红肉苹果与‘红富士’苹果品种杂种F_1分离群体[22]；揭示了苹果高类黄酮形成的分子机制，正调控转录因子MYB12能够与bHLH3/33互作调控黄烷醇的合成，而MYB22能够直接与*FLS*启动子结合促进黄酮醇合成，提出了全红肉表型、R6:*MsMYB10*分子标记及花青苷、黄烷醇和黄酮醇含量与基因表达量检测三结合的高效筛选方法，创制出高类黄酮苹果优异种质CSR6R6（ZL201611138572.1），该种质果肉全红，类黄酮含量为2.51 mg·g^{-1}，抗氧化能力是白肉苹果品种的7倍[23-26]。

1.1.4 发明了苹果优质高效育种技术 在优质品种亲本溯源分析及基因结构分析的基础上，发明了“果树多种源品质育种法”（ZL2015 10428448.8）和“一种易着色苹果品种培育法（ZL201510890141.X）”，实现了易着色（红皮）、红肉、脆肉、高类黄酮等多个品质性状的有效聚合[27]；在新疆红肉苹果与‘红富士’F_1分离群体性状遗传变异研究的基础上，发明了一选亲本、一早播种、二选F_1优株二早杂交、三选F_2红肉株系、一促花芽分化缩童期的“三选两早一促苹果育种法”（ZL 2013 1 0205419.6），育种年限由传统方法的20年缩短至15年[28]。

1.1.5 利用CSR6R6创建了离体研究平台 用离体培养体系研究类黄酮代谢，具有培养条件可控、生长周期短以及便于通过转基因技术进行基因敲除和超表达以进行功能验证等优势。为此，从高类黄酮苹果优异种质CSR6R6叶片诱导出红色愈伤组织，创建了离体培养研究平台。利用该平台，初步研究了糖代谢机制，并探讨了我国西部黄土高原紫外线以及低温、激素和N信号调控苹果花青苷合成的分子机理，为苹果区划及品质性状的栽培调控提供了科学依据。在此基础上，创建了诱导培养、继代培养和增强培养技术体系，提出了“利用组织培养法生产苹果类黄酮”的发明专利，为利用组织培养法进行苹果类黄酮的工业化生产提供了技术支撑[29-51]。

1.1.6 利用CSR6R6创新育成了红肉苹果新品种 利用多项发明专利技术及CSR6R6与‘红富士’等苹果品种杂种F_2分离群体，杂交育成了‘幸红’（品种权号为CNA20180157.7，良种编号为鲁S-SV-MD-010-2019）、‘福红’（品种权号为CNA20180156.8，良种编号为鲁S-SV-MD-008-2018）、‘美红’（品种权号为CNA20180160.2，良种编号为鲁S-SV-MD-010-2018）和‘满红’（品种权号为CNA20180159.5，良种编号为鲁S-SV-MD-009-2018）4个高类黄酮（红肉）苹果新品种，填补了我国红肉苹果品种的空白[52-56]。

省力化是未来果业发展方向。育成的4个红肉苹果新品种均易成花，早果性和丰产性强，易着色，可免套袋[57]；4个品种果肉花青苷含量分别为10.3、28.2、76.6和152.4 mg·kg^{-1}，但采用同样的测定方法，‘红富士’及‘嘎拉’等白肉苹果品种的果肉花青苷几乎检测不到；果肉维生素C含量分别为1.1、2.7、3.6和4.9 mg·100 g^{-1}，而对照‘嘎拉’仅为0.7 mg·100g^{-1}。因此，4个品种均具有较高的营养保健价值；鲜食型的‘幸红’‘福红’和‘美红’均肉质细脆，酸甜适口，鲜食品质优良，明显优于瑞士的红色之爱（Redlove）系列品种，尤其是‘美红’，果肉全红，果肉花青苷含量高达76.6 mg·kg^{-1}，鲜食与营养品质优良，市场前景广阔，助力健康中国（图1）[52]。

幸红 Xinghong　福红 Fuhong　美红 Meihong　满红 Manhong

图1 高类黄酮（红肉）苹果新品种果实特征

Fig. 1 The characteristics of high flavonoid (red flesh) apple variety

1.2　红皮苹果育种理论与技术创新和新品种选育

1.2.1　以‘红富士’为主的品种结构使我国成为世界上最大的苹果生产国和消费国　以‘红富士’为主的品种结构使我国成为世界上最大的苹果生产国和消费国。根据‘红富士’苹果品种特性及其近几年芽变选种和芽变机理的研究结果，结合我国经济社会发展水平、消费习惯和市场需求，经综合分析研究，认为‘红富士’在我国苹果产业独占鳌头（占比约70%）是我国成为世界上最大的苹果生产国和消费国的主导因素，而‘红富士’在我国苹果产业独占鳌头有3个原因：一是通过持续多代的芽变选种，‘红富士’的果实着色、风味品质及生长结果习性等性状得到有效改良，使‘红富士’苹果“好看、好吃、好卖、好管”，推动了我国苹果产业的高速发展[58-59]；二是‘红富士’的红色和短枝芽变属表观遗传，其晚熟和耐贮这2个性状始终没有改变[60-68]；三是以优质、晚熟、耐贮‘红富士’苹果品种为主的品种结构是保障我国鲜食苹果消费市场周年供应最经济有效的技术途径，而美国和法国等资本主义发达国家，利用优质、中熟、不耐贮的‘元帅系’和‘金帅’等主栽品种实现了周年供应。因此，‘红富士’在我国苹果产业独占鳌头是我国及日本苹果人共同创造的中国特色；没有‘红富士’的育种、引种和持续多代的芽变选种，就没有中国的苹果产业（图2，图3）[2,59]。

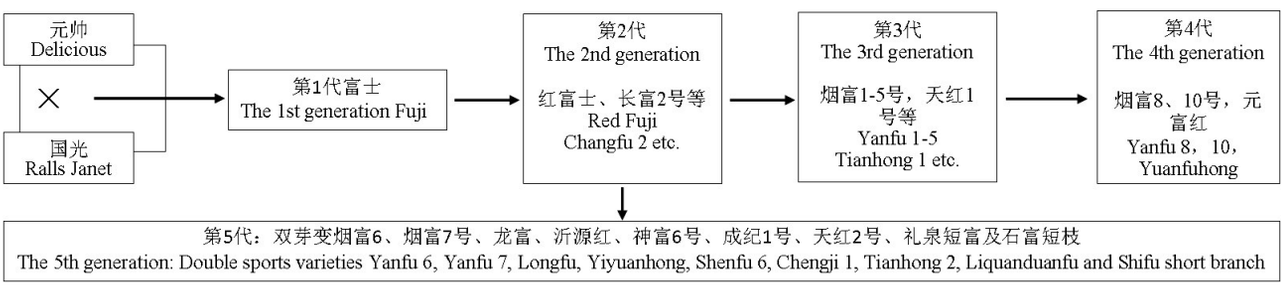


图2　我国‘红富士’苹果的持续多代芽变选种[59]

Fig. 2　The continuous multi-generation bud variety selection of ‘Red Fuji’ apples in our country[59]

长富2 Changfu 2　　烟富3 Yanfu 3　　龙富 Longfu　　元富红 Yuanfuhong

图3　‘长富2’（第2代）和‘烟富3’（第3代）及其红色芽变新品种‘龙富’（第5代）和‘元富红’（第4代）苹果

Fig. 3　The pictures of ‘Changfu 2’ (2nd generation) and ‘Yanfu 3’ (3rd generation) and their new red bud varieties ‘Longfu’ (5th generation) and ‘Yuanfuhong’ (4th generation) apples

1.2.2　发明了常规与分子技术相结合的苹果持续多代芽变选种技术　研究发现，‘长富2’的红色芽变品种‘烟富3’和‘烟富8’*MYB1*启动子甲基化水平与果皮花青苷含量显著负相关，并进一步揭示了苹果红色芽变DNA甲基化差异及花青苷合成的分子机制：苹果AGO4s识别MYB1启动子的ATATCAGA序列并招募DRM2s对MYB1启动子进行CHH甲基化修饰，MYB1进而调控花青苷结构基因及转运蛋白GSTF6，影响花青苷的合成。在此基础上，提出了基于*MYB1*启动子甲基化水平检测的苹果红色芽变早期分子鉴定技术，发明了常规与分子技术相结合的苹果持续多代芽变选种技术（ZL201710092300.0）。该技术实现了对苹果红色变异的早期、快速、准确鉴定，提高了苹果芽变选种效率和准确度，育种年限缩短2~3 a（年），为进一步有效利用苹果芽变选种的群众性、重演性及稳定性三大特点进行“优中选优”提供了技术支撑[59,69-71]。

1.2.3 提出了我国苹果品种结构优化调整方案 未来很长一段时间，‘红富士’占我国苹果产业1/2天下的格局不会改变。因此，一方面应进一步加大‘龙富’‘威海金’及“幸福美满”等特色多样化新品种的示范推广应用力度，加快我国苹果品种结构优化调整步伐，努力构建以‘龙富’和‘元富红’等‘红富士’红色芽变新品种为主（55%）、由‘幸红’‘福红’‘美红’‘满红’‘威海金’‘王林’‘寒富’‘秦脆’‘蜜脆’‘瑞雪’‘福丽’‘华硕’及‘鲁丽’等特色多样化新品种组成的苹果品种结构，推动中国苹果产业提质增效，助力精准脱贫，保障周年供应（图4）[59,72-74]。

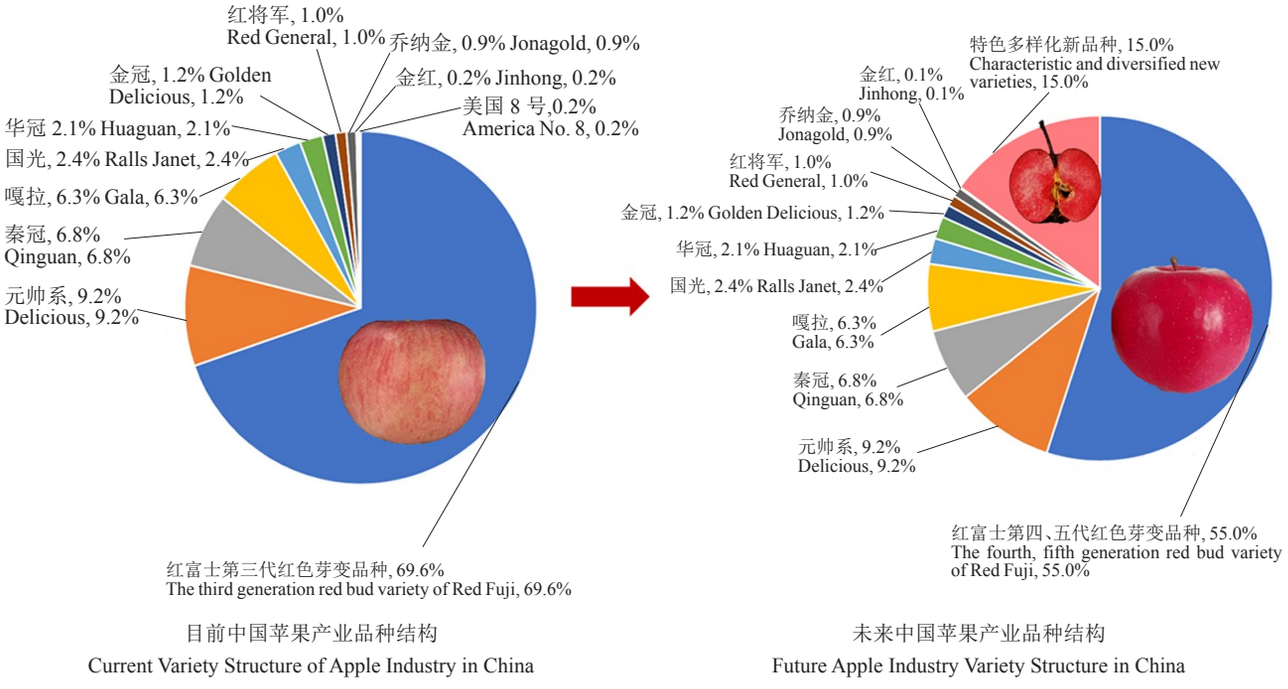


图4 构建以‘红富士’红色芽变新品种为主、由特色多样化新品种组成的中国苹果产业品种结构

Fig. 4 A new variety structure of apple industry in China was constructed, which was mainly composed of new varieties of ‘Red Fuji’ and diversified characteristics

1.3 新品种配套高效栽培与加工技术

1.3.1 发明了苹果重茬障碍绿色防控技术 我国苹果主产区老龄果园亟需更新，受土地资源限制，新品种推广面临重茬栽培。为此，明确了镰孢菌属是引起我国苹果连作障碍的主要病原菌，根皮苷等酚酸类物质显著促进镰孢菌生长，发明了以“冬前开沟、捡除残根、穴施菌肥（发酵流体）、葱树混作”为核心的苹果重茬障碍绿色防控技术，为特色多样化苹果新品种的大面积推广应用提供了技术支撑[75-86]。

1.3.2 发明了宽行高干栽培模式及早果丰产栽培技术 针对我国苹果主产区大多干旱瘠薄，发明了中国原产抗性实生砧木、‘龙富’等优质短枝品种与快速整形方法三位一体的中国式宽行高干无支架省力高效栽培模式，充分发挥了‘龙富’等品种的优良特性，为果园生草化、机械化、无袋轻简化提供了保障，并实现了节本和提质增效[58,87]。

1.3.3 果园生草地力培肥技术 要提高果实品质，首先必须提高土壤品质[27]。而中国果树产业新旧动能转换的卡脖子问题就是“果园基础地力差”；为此，解析了果园生草之所以没能在我国有效推广应用的主客观原因，提出了“给果园小草一点阳光，苹果更灿烂”的现代果园管理理念；明确了1 a生豆科植物长柔毛野豌豆（*Vicia villosa* Roth.）作为果园生草草种的6个特点，发明了长柔毛野豌豆与自然生草多年交互生长的果园生草新模式，取得了“培肥、节水、省力”的显著效果。目前，已在山东、陕西、甘肃、湖北及四川等我国水果主产区大面积推广应用[88-96]。

1.3.4 高类黄酮苹果酒加工技术 针对鲜食加工兼用型高类黄酮苹果新品种‘满红’，发明了高类黄酮苹果加工新设备、新产品和新工艺，延长了产业链[97]。提出并实施了“集成示范、技术培训、技术转让、网络媒体和科普文章”等有机结合的推广模式，

有力推动了新品种、新技术、新模式的大面积推广应用，取得了显著经济、社会和生态效益。

2　新疆‘库尔勒香梨’挖掘利用及优质、耐贮、晚熟梨新品种创制

梨是世界性主要水果之一，也是中国落叶果树的第二大水果，栽培面积与总产量均占世界的50%以上，是世界上最大的梨资源、生产和消费国[98]。如何进一步发挥梨产业在精准扶贫及高端水果市场周年供应中的作用，受到果业界的广泛关注[99]。

2.1　主栽品种“晚熟而不优质”是中国梨产业持续低迷的根本原因

梨果消费市场多年来持续低迷，呈现“内销不旺，外销不畅”的产能过剩现象，而造成这种差异的根本原因是品种结构[99]。

世界梨属植物有基本种20个，原产中国的东方梨有13个种，其中包括砂梨、秋子梨、白梨和新疆梨等栽培种，种质资源极为丰富[100-101]；经过人们长期的的栽培与系统选育，选育出‘砀山酥’梨、‘鸭梨’、‘库尔勒香梨’、‘京白梨’和‘南果梨’等众多地方名产品种；近十几年来，我国梨育种尤其是优质早熟梨新品种选育研究取得了突破性进展，成就斐然，早、中、晚熟梨的比例已由1994年的7∶23∶70调整到2006年的20∶28∶52，近20年育成的早熟品种比例接近50%，出现了多个优质高效发展的案例，形成了由地方名产品种和优质早中熟品种组成的多样化品种结构[102]；但占30%的‘砀山酥’梨和‘鸭梨’等主栽品种均“晚熟而不优质”（风味淡、石细胞多），果农和经销商的盈利空间均有限，不能满足高端消费市场的需求，挫伤了消费者的消费积极性，是我国梨果消费市场多年来持续低迷的根本原因。因此，要在总体上推动中国梨产业的高效发展，必须在继承中创新，开展‘砀山酥’梨等地方名产品种的品质改良及品种结构优化调整[103]。

2.2　新疆‘库尔勒香梨’挖掘利用及优质、耐贮、晚熟梨新品种的创制

新疆‘库尔勒香梨’是东、西方梨的杂种[104]，具有肉质细、耐贮藏的显著优点，不足之处是果个小、果心大；研究发现，‘库尔勒香梨’优质、耐贮的特性遗传能力很强，是梨品质育种不可或缺的重要亲本资源[105]。

2.2.1　‘山农酥’梨新品种的创制　利用前期创建的具有普适性的苹果优质高效育种技术，以遗传背景复杂、含有‘库尔勒香梨’基因且具有新疆梨、沙梨、西洋梨及白梨等4个种血缘的‘新梨7号’为母本，以晚熟、耐贮藏的白梨系统地方名产品种‘砀山酥’梨为父本，杂交育成了优质、耐贮、极晚熟梨新品种‘山农酥’，平均单果质量460 g，果心小、果个大；质地细密、酥脆，可溶性固形物含量14.8%，品质优；果实切开24小时不褐变，抗氧化；常温下存放2个月仍保持酥脆品质，耐贮藏。果实发育期180 d，极晚熟，综合品质性状优良，已经成为更新换代品种，解决了中国梨产业“晚熟而不优质”的问题。目前，通过校企联合的方式，已在山东菏泽、聊城、济宁、临沂、泰安、莱芜及淄博等地示范推广666.7 hm^2，提出并实施了可复制的“胶东苹果，鲁西酥梨”水果产业振兴齐鲁样板（图5）[106]。

2.2.2　‘红香酥’梨新品种的创制　‘红香酥’梨是中国农业科学院郑州果树研究所用‘库尔勒香梨’作母本、郑州鹅梨作父本，采取人工杂交培育而成的红皮梨新品种。其平均单果质量220 g，最大489 g。果实纺锤形或长卵圆形，果形指数1.27，部分果实萼端

图5　优质、耐贮、极晚熟梨新品种‘山农酥’

Fig. 5　A new pear variety ‘Shannongsu’ with high quality, storability and extremely late ripening

稍突起。果面洁净、光滑，果皮绿黄色，向阳面2/3果面鲜红色。果肉白色，肉质致密细脆，石细胞较少，汁多，味香甜，可溶性固形物含量13.5%，总糖含量91.72 g·kg^{-1}，总酸含量0.94 g·kg^{-1}，维生素C含量73.92 mg·kg^{-1}（以鲜质量计），品质上等。果实较耐贮运，冷藏条件下可贮藏至翌年3—4月；目前，‘红香酥’梨已在河南、河北、山西、陕西及北京等地推广3.33万hm^2，受到市场和消费者的普遍欢迎（图6）[107]。

2.2.3 ‘玉露香’梨新品种的创制 ‘玉露香’梨是山西省农科院果树研究所以‘库尔勒香梨’为母本、‘雪花梨’为父本杂交育成的优质中晚熟梨新品种。从1974年杂交、历经29年，于2003年通过山西省农作物品种审定委员会审定。其平均单果质量236.8 g，最大果质量450 g；果实近球形，阳面着红晕，采收时果皮黄绿色，贮后呈黄色。果皮薄，果心小；果肉白色，酥脆多汁，石细胞极少，味甜可口；可溶性固形物含量12.5%~15.2%，糖酸比68.22~95.31∶1，品质上等。果实耐贮藏，在自然土窑洞内可贮4~6个月，恒温冷库可贮藏6~8个月。目前，在山西、陕西、北京和河北等地推广约3.33万hm^2，受到市场和消费者的追捧和欢迎（图7）[108]。

图6 优质、耐贮、晚熟梨新品种‘红香酥’

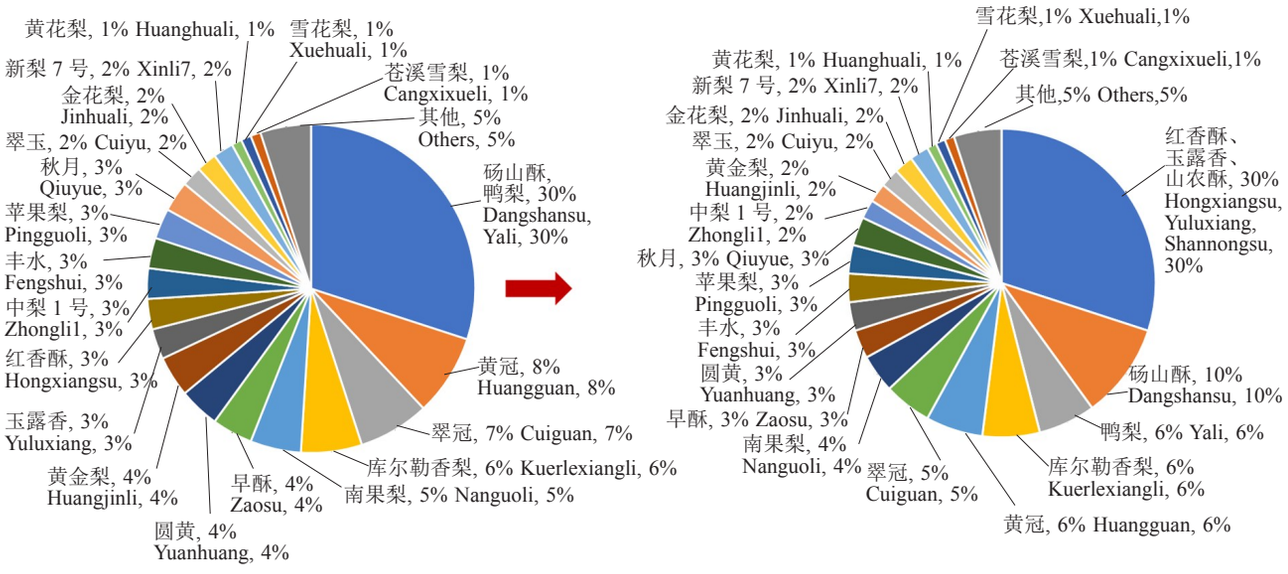
Fig. 6 A new high-quality, storable, late-ripening pear variety ‘Hongxiangsu’

图7 优质、耐贮、中晚熟梨新品种‘玉露香’

Fig. 7 A new high-quality, storable, mid-late ripening pear variety ‘Yuluxiang’

2.3 提出了我国梨品种结构优化调整方案

借鉴中国苹果产业优质高效发展经验，根据我国梨栽培区域生态多样化的特点和消费习惯的不同，建议今后逐步缩小‘砀山酥’梨、‘鸭梨’和‘南果梨’等地方品种的栽培面积，同时进一步加大‘红香酥’‘玉露香’和‘山农酥’梨等晚熟新品种的推广应用力度，努力构建以优质、耐贮、晚熟梨品种为主（30%以上）、优质早、中熟品种配套、协同发展的多样化品种结构，提振消费者的消费信心，撬动中国梨产业优质高效发展（图8）。



目前中国梨产业品种结构
Current Variety Structure of Pear Industry in China

未来中国梨产业品种结构
Future Variety Structure of Pear Industry in China

图 8　构建以优质、耐贮、晚熟梨新品种为主且由特色多样化品种组成的中国梨产业品种结构

Fig. 8　Constructing a variety structure of China's pear industry with high-quality，storable，and late-ripening pear varieties as the mainstay，composed of distinctive and diverse varieties

参考文献 References：

[1] 陈学森，毛志泉，王楠，张宗营，王志刚，姜召涛，徐月华，东明学，李建明 . 我国果树产业新旧动能转换之我见Ⅳ：服务乡村振兴,果树资源与育种研究必须坚持理论与技术创新并重及良种良法配套[J]. 中国果树，2019(6)：1-5.
CHEN Xuesen，MAO Zhiquan，WANG Nan，ZHANG Zongying，WANG Zhigang，JIANG Zhaotao，XU Yuehua，DONG Mingxue，LI Jianming. To serve the rural revitalization，fruit tree breeding must attach equal importanceto both theoretical and technological innovation，and provide a complete set of good varieties and methods[J]. China Fruit，2019(6): 1-5.

[2] 陈学森，王楠，张宗营，毛志泉，王志刚，姜召涛，单玉佐 . 我国果树产业新旧动能转换之我见Ⅱ：以优质、晚熟、耐贮品种为主的品种结构助力我国苹果和梨产业高效发展[J]. 中国果树，2019(3)：1-4.
CHEN Xuesen，WANG Nan，ZHANG Zongying，MAO Zhiquan，WANG Zhigang，JIANG Zhaotao，SHAN Yuzuo，Variety structure with high-quality，late-maturing and storage-tolerant varieties as themain driving force for the efficient development of apple and pear industry in China[J]. China Fruit，2019(3): 1-4.

[3] 刘静轩，曲常志，许海峰，苏梦雨，房鸿成，王楠，姜生辉，王意程，张宗营，陈学森 . 新疆红肉苹果杂交二代 2 个功能型株系果实风味品质的评价[J]. 果树学报，2017，34(8)：988-995.
LIU Jingxuan，QU Changzhi，XU Haifeng，SU Mengyu，FANG Hongcheng，WANG Nan，JIANG Shenghui，WANG Yicheng，ZHANG Zongying，CHEN Xuesen. Evaluation on fruit flavor quality in two second-generation hybrid apple lines[J]. Journal of Fruit Science，2017，34(8): 988-995.

[4] 陈学森，韩明玉，苏桂林，刘凤之，过国南，姜远茂，毛志泉，彭福田，束怀瑞 . 当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见[J]. 果树学报，2010，27(4)：598-604.
CHEN Xuesen，HAN Mingyu，SU Guilin，LIU Fengzhi，GUO Guonan，JIANG Yuanmao，MAO Zhiquan，PENG Futian，SHU Huairui. Discussion on today's world apple industry trends and the suggestions on sustainable and efficient development of apple industry in China[J]. Journal of Fruit Science，2010，27(4): 598-604.

[5] 李育农 . 苹果属植物种质资源研究[M]. 北京：中国农业出版社，2001.
LI Yunong，Researches of germplasm resources of Malus[M]. Beijing:China Agriculture Press，2001.

[6] 陈学森，王楠，张宗营，毛志泉，王志刚，徐月华，姜生辉，房鸿程，王意程，东明学，李建明，隋秀奇 . 我国高类黄酮(红皮与红肉)苹果育种取得突破性进展[J]. 中国果树，2020(2)：6-9.
CHEN Xuesen，WANG Nan，ZHANG Zongying，MAO Zhiquan，WANG Zhigang，XU Yuehua，JIANG Shenghui，FANG Hongcheng，WANG Yicheng，DONG Mingxue，LI Jianming，SUI Xiuqi. Breakthrough in the breeding of high flavonoid (red-skin and red-fleshed)apple in China[J]. China Fruit，2020(2): 6-9.

[7] 王楠，张静，于蕾，邹琦，郭章文，毛作霖，王意程，姜生辉，房鸿成，许海峰，苏梦雨，张宗营，冯守千，陈晓流，王志刚，姜召涛，东明学，徐月华，李建明，毛志泉，陈学森 . 仁果类果树资源育种研究进展Ⅱ：苹果种质资源、品质发育及遗传育种研究进展[J]. 植物遗传资源学报，2019，20(4)：801-812.
WANG Nan，ZHANG Jing，YU Lei，ZOU Qi，GUO Zhangwen，MAO Zuolin，WANG Yicheng，JIANG Shenghui，FANG Hongcheng，XU Haifeng，SU Mengyu，ZHANG Zongying，FENG Shouqian，CHEN Xiaoliu，WANG Zhigang，JIANG Zhaotao，DONG Mingxue，XU Yuehua，LI Jianming，MAO Zhiquan，CHEN Xuesen. Progress on the resource breeding of kernel fruits Ⅱ: Progresson the germplasm resources，quality develop-

ment and genetic breeding of apple in China[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2019，20(4): 801-812.

[8] WANG N，JIANG S H，ZHANG Z Y，FANG H C，XU H F，WANG Y C，CHEN X S. *Malus sieversii*: the origin，flavonoidsynthesis mechanism，and breedingof red-skinned and red-fleshed apples[J]. Horticulture Research，2018，5: 70.

[9] DUAN N B，BAI Y，SUN H H，……，CHEN X S. Genome re-sequencing reveals the historyof apple and supports a two-stage model for fruit enlargement[J]. Nature Communications，2017，8: 249.

[10] 冯涛，张红，陈学森，张艳敏，何天明，冯建荣，许正 . 新疆野苹果果实形态与矿质元素含量多样性以及特异性状单株[J]. 植物遗传资源学报，2006，7(3): 270-276.
FENG Tao，ZHANG Hong，CHEN Xuesen，ZHANG Yanmin，HE Tianming，FENG Jianrong，XU Zheng. Genetic diversity of fruit morphological traits and content of mineral element in *Malus sieversii* (Ldb.) Roem. and its Elite seedlings[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2006，7(3): 270-276.

[11] 冯涛，张艳敏，陈学森 . 新疆野苹果居群年龄结构及郁闭度研究[J]. 果树学报，2007，24(5): 571-573.
FENG Tao，ZHANG Yanmin，CHEN Xuesen. Study on the age structure and density of the wild apple forest of *Malus sieversii* [J]. Journal of Fruit Science，2007，24 (5): 571-573.

[12] ZHANG C Y，CHEN X S，HE T M，LIU X L，FENG Tao，YUAN Z H. Genetic structure of *Malus sieversii* population from Xinjiang，China，revealed by SSR markers[J]. Journal of Genetics and Genomics(Formerly Acta Genetica Sinica)，2007，34 (10): 947-955.

[13] 刘遵春，张春雨，张艳敏，张小燕，吴传金，王海波，石俊，陈学森 . 利用数量性状构建新疆野苹果核心种质的方法[J]. 中国农业科学，2010，43(2): 358-370.
LIU Zunchun，ZHANG Chunyu，ZHANG Yanmin，ZHANG Xiaoyan，WU Chuanjin，WANG Haibo，SHI Jun，CHEN Xuesen. Study on method of constructing core collection of *Malus sieversii* Based on quantitative traits[J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(2):358-370.

[14] 张春雨，陈学森，张艳敏，苑兆和，刘遵春，王延龄，林群 . 采用分子标记构建新疆野苹果核心种质的方法[J]. 中国农业科学，2009，42(2): 597-604.
ZHANG Chunyu，CHEN Xuesen，ZHANG Yanmin，YUAN Zhaohe，LIU Zunchun，WANG Yanling，LIN Qun. A method for constructing core collection of *Malus sieversii* using molecular markers[J]. Scientia Agricultura Sinica，2009，42(2): 597-604.

[15] 刘遵春，刘大亮，崔美，李敏，焦其庆，高利平，陈学森 . 整合农艺性状和分子标记数据构建新疆野苹果核心种质[J]. 园艺学报，2012，39(6): 1045-1054.
LIU Zunchun，LIU Daliang，CUI Mei，LI Min，JIAO Qiqing，GAO Liping，CHEN Xuesen. Combining agronomic traits and molecular marker data for constructing *Malus sieversii* core collection[J]. Acta Horticulturae Sinica，2012，39(6): 1045-1054.

[16] 吴传金，陈学森，曾继吾，易干军，刘崇琪，张大海 . 新疆野苹果*(Malus sieversii)*超低温保存及其植株再生[J]. 植物遗传资源学报，2008，9(2):243-247.
WU Chuanjin，CHEN Xuesen，ZENG Jiwu，YI Ganjun，LIU Chongqi，ZHANG Dahai. Cryopreservation of *in vitro* shoot tips of *Malus sieversii* by vitrification and its regeneration[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2008，9(2): 243-247.

[17] CHEN X S，FENG T，ZHANG Y M，HE T M，FENG J R，ZHANG C Y. Genetic Diversity of volatile components in Xinjiang WildApple (*Malus sieversii*) [J]. Journal of Genetics and Genomics(Formerly Acta Genetica Sinica)，2007，34(2): 171-179.

[18] 张小燕，陈学森，彭勇，王海波，石俊，张红 . 新疆野苹果矿质元素与糖酸组分的遗传多样性[J]. 园艺学报，2008，35(2): 277-280.
ZHANG Xiaoyan，CHEN Xuesen，PENG Yong，WANG Haibo，SHI Jun，ZHANG Hong. Genetic diversity of mineral elements，sugar and acid components in *Malus sieversii*[J]. Acta Horticulturae Sinica，2008，35(2): 277-280.

[19] 张小燕，陈学森，彭勇，刘遵春，石俊，王海波 . 新疆野苹果多酚物质的遗传多样性[J]. 园艺学报，2008，35(9): 1351-1356.
ZHANG Xiaoyan，CHEN Xuesen，PENG Yong，LIU Zunchun，SHI Jun，WANG Haibo. Genetic diversity of phenolic compounds in *Malus sieversii*[J]. Acta Horticulturae Sinica，2008，35 (9): 1351-1356.

[20] 冯涛，陈学森，张艳敏，张春雨，张小燕，吴传金 . 新疆野苹果叶片抗氧化能力及多酚组分的研究[J]. 中国农业科学，2008，41(8): 2386-2391.
FENG Tao，CHEN Xuesen，ZHANG Yanmin，ZHANG Chunyu，ZHANG Xiaoyan，WU Chuanjin. Antioxidation and phenolic constituents in Xinjiang wild apple[*Malus sieversii* (Lebed.) Roem.] Leaf[J]. Scientia Agricultura Sinica，2008，41(8): 2386-2391.

[21] 王延玲，张艳敏，冯守千，田长平，王海波，刘遵春，宋杨，陈学森 . 新疆红肉苹果转录因子 MsMYB10 基因的克隆、序列分析及原核表达[J]. 中国农业科学，2010，43(13): 2735-2743.
WANG Yanling，ZHANG Yanmin，FENG Shouqian，TIAN Changping，WANG Haibo，LIU Zunchun，SONG Yang，CHEN Xuesen. Cloning，sequence analysis and expression in *E. coli* of MsMYB10 gene from *Malus sieversii* f. *neidzwetzkyana*[J]. Scientia Agricultura Sinica，2010，43(13): 2735-2743.

[22] ZHANG Z Y，WANG N，JIANG S H，XU H F，WANG Y C，WANG C Z，LI M ，LIU J X，QU C Z，LIU W ，WU S J，CHEN X L，CHEN X S. Analysis of the xyloglucan endotransglucosylase/hydrolase gene family during apple fruit ripening and softening[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2017，65(2): 429-434.

[23] WANG N ，XU H F，JIANG S H，ZHANG Z Y，LU N L，QIU H R，QU C Z，WANG Y C，WU S J，CHEN X S. MYB12 and MYB22 play essential roles in proanthocyanidin and flavonol synthesis in red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*) [J]. The Plant Journal，2017(90): 276-292.

[24] XU H F，WANG N，LIU J X，QU C Z，WANG Y C，JIANG S H，LU N L，WANG D Y，ZHANG Z Y，CHEN X S. The molecular mechanism underlying anthocyanin metabolism in apple using the MdMYB16 and MdbHLH33 genes[J]. Plant Molecular Biology，2017，94(1/2): 149-165.

[25] 许海峰，王楠，姜生辉，王意程，刘静轩，曲常志，王得云，左卫芳，张静，冀晓昊，张宗营，毛志泉，陈学森 . 新疆红肉苹果杂种一代 4 个株系类黄酮含量及其合成相关基因表达分析[J]. 中国农业科学，2016，49(16): 3174-3187.
XU Haifeng，WANG Nan，JIANG Shenghui，WANG Yicheng，LIU Jingxuan，QU Changzhi，WANG Deyun，ZUO Weifang，ZHANG Jing，JI Xiaohao，ZHANG Zongying，MAO Zhiquan，CHEN Xuesen. Content and analysis of biosynthesis-related

genes of flavonoid among four strains of *Malus sieversii* f. *neidzwetzkyana* F_1 population[J]. Scientia Agricultura Sinica，2016，49(16): 3174-3187.

[26] 王燕，陈学森，刘大亮，王传增，宋杨，陈晓流，张艳敏．‘紫红1号’红肉苹果果肉抗氧化性及花色苷分析[J]. 园艺学报，2012，39(10)：1991-1998.
WANG Yan，CHEN Xuesen，LIU Daliang，WANG Chuanzeng，SONG Yang，CHEN Xiaoliu，ZHANG Yanmin. Antioxidant activity and anthocyanins analysis of pulp in ‘Zihong 1’ red-flesh apple[J]. Acta Horticulturae Sinica，2012，39(10): 1991-1998.

[27] 陈学森，郭文武，徐娟，丛佩华，王力荣，刘崇怀，李秀根，吴树敬，姚玉新，陈晓流．主要果树果实品质遗传改良与提升实践[J]. 中国农业科学，2015，48(17)：3524-3540.
CHEN Xuesen，GUO Wenwu，XU Juan，CONG Peihua，WANG Lirong，LIU Chonghuai，LI Xiugen，WU Shujing，YAO Yuxin，CHEN Xiaoliu. Genetic improvement and promotion of fruit quality of main fruit trees[J]. Scientia Agricultura Sinica，2015，48(17): 3524-3540.

[28] 陈学森，张晶，刘大亮，冀晓昊，张宗营，张芮，毛志泉，张艳敏，王立霞，李敏．新疆红肉苹果杂种一代的遗传变异及功能型苹果优株评价[J]. 中国农业科学，2014，47(11)：2193-2204.
CHEN Xuesen，ZHANG Jing，LIU Daliang，JI Xiaohao，ZHANG Zongying，ZHANG Rui，MAO Zhiquan，ZHANG Yanmin，WANG Lixia，LI Min. Genetic Variation of F_1 Population Between *Malus sieversii* f. *neidzwetzkyana* and apple varieties and evaluation on fruit characters of functional apple excellent strains[J]. Scientia Agricultura Sinica，2014，47(11): 2193-2204.

[29] 许海峰，刘静轩，王意程，左卫芳，曲常志，王得云，张静，姜生辉，王楠，陈学森．苹果液泡膜葡萄糖转运蛋白基因 MdVGT1 的克隆与表达分析[J]. 中国农业科学，2016，49(23)：4584-4592.
XU Haifeng，LIU Jingxuan，WANG Yicheng，ZUO Weifang，QU Changzhi，WANG Deyun，ZHANG Jing，JIANG Shenghui，WANG Nan，CHEN Xuesen. Isolation and expression analysis of a vacuolar glucose transporter gene MdVGT1 in apple[J]. Scientia Agricultura Sinica，2016，49(23): 4584-4592.

[30] 许海峰，曲常志，刘静轩，王意程，王得云，左卫芳，姜生辉，王楠，张宗营，陈学森．苹果液泡膜蔗糖转运蛋白基因 MdSUT4 的表达分析与功能鉴定[J]. 园艺学报，2017，44(7)：1235－1243.
XU Haifeng，QU Changzhi，LIU Jingxuan，WANG Yicheng，WANG Deyun，ZUO Weifang，JIANG Shenghui，WANG Nan，ZHANG Zongying，CHEN Xuesen. Expression analysis and functional identification of a vacuolar sucrose transporter gene MdSUT4 in apple[J]. Acta Horticulturae Sinica，2017，44(7): 1235－1243.

[31] 杨官显，许海峰，张静，王楠，房鸿成，邹琦，王意程，姜生辉，陈学森．苹果糖转运蛋白基因 MdSWEET17 的功能鉴定[J]. 植物生理学报，2018，54(11)：1737-1745.
YANG Guanxian，XU Haifeng，ZHANG Jing，WANG Nan，FANG Hongcheng，ZOU Qi，WANG Yicheng，JIANG Shenghui，CHEN Xuesen. Functional identification of a sugar transporter gene MdSWEET17 in apple[J]. Plant Physiology Journal，2018，54(11): 1737-1745.

[32] 王意程，许海峰，王楠，姜生辉，刘静轩，王得云，左卫芳，陈学森．功能型苹果愈伤组织生长素信号相关基因 MdARF3 的克隆与表达分析[J]. 园艺学报，2017，44(4)：633-643.
WANG Yicheng，XU Haifeng，WANG Nan，JIANG Shenghui，LIU Jingxuan，WANG Deyun，ZUO Weifang，CHEN Xuesen. Molecular cloning and expression analysis of an auxin signaling related gene MdARF3 in red flesh apple[J]. Acta Horticulturae Sinica，2017，44(4): 633-643.

[33] 王意程，王楠，许海峰，张宗营，姜生辉，张静，曲常志，陈学森．红肉苹果分裂素响应基因 MdMYB308 的克隆与表达分析[J]. 中国农业科学，2017，50(21)：4178-4185.
WANG Yicheng，WANG Nan，XU Haifeng，ZHANG Zongying，JIANG Shenghui，ZHANG Jing，QU Changzhi，CHEN Xuesen. Molecular cloning and expression analysis of cytokinins responsive gene MdMYB308 in red flesh apple[J]. Scientia Agricultura Sinica，2017，50(21): 4178-4185.

[34] JI X H，WANG Y T，ZHANG R，WU S J，AN M M，LI M，WANG C Z，CHEN X L，ZHANG Y M，CHEN X S. Effect of auxin，cytokinin and nitrogen on anthocyanin biosynthesis in callus cultures of red-fleshed apple (*Malus sieversii f. niedzwetzkyana*)[J]. Plant Cell，Tissue and Organ Culture，2015，120(1): 325-337.

[35] JI X H，ZHANG R，WANG N，YANG L，CHEN X S. Transcriptome profiling reveals auxin suppressed anthocyanin biosynthesis in red-fleshed apple callus (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*)[J]. Plant Cell，Tissue and Organ Culture，2015，123(2): 389-404.

[36] WANG Y C，WANG N，XU H F，JIANG S H，FANG H C，SU M Y，ZHANG Z Y，ZHANG T L，CHEN X S. Auxin regulates anthocyanin biosynthesis through the Aux/IAA－ARF signaling pathway in apple[J]. Horticulture Research，2018，5(1): 59.

[37] WANG N，ZHANG Z Y，JIANG S H，XU H F，WANG Y C，FENG S Q，CHEN X S. Synergistic effects of light and temperature on anthocyanin biosynthesis in callus cultures of red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*)[J]. Plant Cell，Tissue and Organ Culture，2016，127(1): 217-227.

[38] WANG N，QU C Z，JIANG S H，CHEN Z J，XU H F，FANG H C，SU M Y，ZHANG J，WANG Y C，LIU W J，ZHANG Z Y，LU N L，CHEN X S. The proanthocyanidin-specific transcription factor MdMYBPA1 initiates anthocyanin synthesis under low-temperature conditions in red-fleshed apples[J]. The Plant Journal，2018，96(1): 39-55.

[39] WANG N，LIU W J，ZHANG T J，JIANG S H，XU H F，WANG Y C，ZHANG Z Y，WANG C Z，CHEN X S. Transcriptomic analysis of red-fleshed apples reveals the novel role of MdWRKY11 in flavonoid and anthocyanin biosynthesis[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2018，66(27): 7076-7086.

[40] ZHANG J，XU H F，WANG N，JIANG S H，FANG H C，ZHANG Z Y，YANG G X，WANG Y C，SU M Y，XU L，CHEN X S. The ethylene response factor MdERF1B regulates anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in apple[J]. Plant Molecular Biology，2018，98: 205-218.

[41] XU H F，WANG N，WANG Y C，JIANG S H，FANG H C，ZHANG J，SU M Y，ZUO W F，XU L，ZHANG Z Y，CHEN X S. Overexpression of the transcription factor MdbHLH33 increases cold tolerance of transgenic apple callus[J]. Plant Cell，Tissue and Organ Culture，2018，134(1): 131-140.

[42] XU H F，YANG G X，ZHANG J，WANG Y C，ZHANG T L，WANG N，JIANG S H，ZHANG Z Y，CHEN X S. Overexpression of a repressor MdMYB15L negatively regulates anthocyan-

in and cold tolerance in red-fleshed callus[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications，2018，500(2): 405-410.

[43] WANG Y C，XU H F，LIU W J，WANG N，QU C Z，JIANG S H，FANG H C，ZHANG Z Y，CHEN X S. Methyl jasmonate enhances apple' cold tolerance through the JAZ－MYC2 pathway[J]. Plant Cell，Tissue and Organ Culture，2018，136(49): 75-84.

[44] WANG Y C，SUN J J，WANG N，XU H F，QU C Z，JIANG S H，FANG H C，SU M Y，ZHANG Z Y，CHEN X S. MdMYBL2 helps regulate cytokinin-induced anthocyanin biosynthesis in red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*) callus[J]. Functional Plant Biology，2018，46(2): 187-196.

[45] FANG H C，DONG Y H，YUE X X，HU J F，JIANG S H，XU H F，WANG Y C，SU M Y，ZHANG J，ZHANG Z Y，WANG N，CHEN X S. The B-Box zinc finger protein MdBBX20 integrates anthocyanin accumulation in response to ultraviolet radiation and low temperature[J]. Plant，Cell & Environment，2019，42(7): 2090-2104.

[46] FANG H C，DONG Y H，YUE X X，CHEN X L，HE N B，HU J F，JIANG S H，XU H F，WANG Y C，SU M Y，ZHANG J，ZHANG Z Y，WANG N，CHEN X S. MdCOL4 Interaction mediates crosstalk between UV-B and high temperature to control fruit coloration in apple[J]. Plant and Cell Physiology，2019，60(5): 1055-1066.

[47] WANG Y C，LIU W J，JIANG H Y，MAO Z L，WANG N，JIANG S H，XU H F，YANG G X，ZHANG Z Y，CHEN X S. The R2R3-MYB transcription factor MdMYB24-like is involved in methyljasmonate-induced anthocyanin biosynthesis in apple[J]. Plant Physiology and Biochemistry，2019，139: 273-282.

[48] WANG Y C，MAO Z L，JIANG H Y，ZHANG Z Y，CHEN X S. A feedback loop involving MdMYB108L and MdHY5 controls apple cold tolerance[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications，2019，512(2): 381-386.

[49] SUN Q G，JIANG S H，ZHANG T L，XU H F，FANG H C，ZHANG J，SU M Y，WANG Y C，ZHANG Z Y，WANG N，CHEN X S. Apple NAC transcription factor MdNAC52 regulates biosynthesis of anthocyanin and proanthocyanidin through MdMYB9 and MdMYB11[J]. Plant Science，2019，289: 110286.

[50] HU J F，FANG H C，WANG J，YUE，X X，SU M Y，MAO Z L，ZOU Q，JIANG H Y，GUO Z W，YU L，FENG T，LU L，PENG Z E，ZAHNG Z Y，WANG N，CHEN X S. Ultraviolet b-induced MdWRKY72 expression promotes anthocyanin synthesis in apple[J]. Plant Science，2020，292: 110377.

[51] XU H F，ZOU Q，YANG G X，JIANG S H，FANG H C，WANG Y C，ZHANG J，ZHANG Z Y，WANG N，CHEN X S. MdMYB6 regulates anthocyanin formation in apple both through direct inhibition of the biosynthesis pathway and through substrate removal[J]. Horticulture Research，2020，7: 72.

[52] 陈学森，毛志泉，王楠，张宗营，王志刚，徐月华，姜生辉，东明学，李建明．'红富士'和新疆红肉苹果资源评价挖掘与创新利用：培育幸福美满，助力健康中国，服务乡村振兴[J]. 中国果树，2020(4)：1-4.
CHEN Xensen，MAO Zhiquan，WANG Nan，ZHANG Zongying，WANG Zhigang，XU Yuehua，JIANG Shenghui，DONG Mingxue，LI Jianming. Breeding of new apple varieties 'Xinghong'，'Fuhong'，'Meihong' and 'Manhong'，help healthy China and serve rural revitalization[J]. China Fruit，2020(4): 1-4.

[53] 王楠，刘文军，王意程，许海峰，房鸿成，杨官显，吴树敬，张宗营，陈学森．高类黄酮苹果新品种'幸红'[J]. 园艺学报，2020，47(S)：47.
WANG Nan，LIU Wenjun，WANG Yicheng，XU Haifeng，FANG Hongcheng，YANG Guanxian，WU Shujing，ZHANG Zongying，CHEN Xuesen. Evaluation mining and innovation utilization of 'Fuji' and *Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*: A New High-flavonoid Apple Cultivar 'Xinghong'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2020，47(S): 47.

[54] 王楠，杨官显，王意程，许海峰，房鸿成，刘文军，张静，张宗营，陈学森．高类黄酮苹果新品种'福红'[J]. 园艺学报，2018，45(S2)：2701-2702.
WANG Nan，YANG Guanxian，WANG Yicheng，XU Haifeng，FANG Hongcheng，LIU Wenjun，ZHANG Jing，ZHANG Zongying，and CHEN Xuesen. A new high-flavonoid apple cultivar 'Fuhong'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(S2): 2701-2702.

[55] 王楠，刘文军，王意程，许海峰，房鸿成，杨官显，吴树敬，张宗营，陈学森．高类黄酮苹果新品种'美红'[J]. 园艺学报，2018，45(S2)：2705-2706.
WANG Nan，LIU Wenjun，WANG Yicheng，XU Haifeng，FANG Hengcheng，YANG Guanxian，WU Shujing，ZHANG Zongying，CHEN Xuesen. A new high-flavonoid apple cultivar 'Meihong'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(S2): 2705-2706.

[56] 王楠，岳璇璇，许海峰，张静，苏梦雨，杨官显，刘文军，张宗营，陈学森．加工型高类黄酮苹果新品种'满红'[J]. 园艺学报，2018，45(S2)：2703-2704.
WANG Nan，YUE Xuanuan，XU Haifeng，ZHANG Jing，SU Mengyu，YANG Guanxian，LIU Wenjun，ZHANG Zongying，CHEN Xuesen. A new high-flavonoid apple cultivar 'Manhong'[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(S2): 2703-2704.

[57] 陈学森，毛志泉，沈向，姜远茂，王志刚，张宗营，王楠，许海峰，王意程．我国苹果产业节本增效关键技术Ⅰ：易着色功能型苹果新品种培育及无袋化栽培技术[J]. 中国果树，2017(1)：1-5.
CHEN Xuesen，MAO Zhiquan，SHEN Xiang，JIANG Yuanmao，WANG Zhigang，ZHANG Zongying，WANG Nan，XU Haifeng，WANG Yicheng. The breeding of new variety of easy colouring functional apple and non-bag cultivation technology[J]. China Fruit，2017(1): 1-5.

[58] 陈学森，毛志泉，姜远茂，王楠，张宗营，王志刚，于国合，邹养军，姜召涛，王恩琪，东明学，徐月华，马均，李建明，隋秀奇．中国苹果产业节本增效关键技术Ⅱ：现代宽行高干省力高效栽培模式创建技术[J]. 中国果树，2017(2)：1-4.
CHEN Xuesen，MAO Zhiquan，JIANG Yuanmao，WANG Nan，ZHANG Zongying，WANG Zhigang，YU Guohe，ZOU Yangjun，JIANG Zhaotao，WANG Enqi，DONG Mingxue，XU Yuehua，MA Jun，LI Jianming，SUI Xiuqi. The high efficient cultivation technology of widerow and high trunk[J]. China Fruits，2017(2): 1-4.

[59] 陈学森，毛志泉，王志刚，王楠，张宗营，姜生辉，姜召涛，徐月华，东明学，李建明，隋秀奇．持续多代芽变选种及其芽变机理揭开'红富士'在我国苹果产业独占鳌头的谜底[J]. 中国果树，2020(3)：1-5.
CHEN Xuesen，MAO Zhiquan，WANG Zhigang，WANG Nan，ZHANG Zongying，JIANG Shenghui，JIANG Zhaotao，XU Yuehua，DONG Mingxue，LI Jianming，SUI Xiuqi. Continuous mul-

tigenerational sports selection and its mechanism reveals the mystery of ‘Red Fuji’ in China’s apple industry[J]. China Fruits，2020(3): 1-5.

[60] 刘晓静，冯宝春，冯守千，王海波，石俊，王娜，陈为一，陈学森 . ‘国光’苹果及其红色芽变花青苷合成与相关酶活性的研究[J]. 园艺学报，2009，36(9)：1249-1254.
LIU Xiaojing，FENG Baochun，FENG Shouqian，WANG Haibo，SHI Jun，WANG Na，CHEN Weiyi，CHEN Xuesen. Studies on anthocyan in biosynthesis and activities of related enzymes of ‘Ralls’ and its bud mutation[J]. Acta Horticulturae Sinica，2009，36(9): 1249-1254.

[61] XU Y，FENG S，JIAO Q，LIU C，ZHANG W，CHEN W，CHEN X. Comparison of MdMYB1 sequences and expression of anthocyanin biosynthetic and regulatory genes between *Malus domestica* Borkh.[J]. Euphytica，2012，185(2): 157-170.

[62] 宋杨，张艳敏，刘金，王传增，刘美艳，冯守千，陈学森 . GA 含量与其合成酶基因在‘长富 2 号’苹果及其短枝型芽变品种之间的比较分析[J]. 中国农业科学，2012，45(13)：2668-2675.
SONG Yang，ZHANG Yanmin，LIU Jin，WANG Chuanzeng，LIU Meiyan，FENG Shouqian，CHEN Xuesen. Comparison of gibberellin acid content and the genes relatived to GA biosynthesis between ‘Changfu 2’ apple (*Malus domestica* Borkh.) and its spur sport[J]. Scientia Agricultura Sinica，2012，45(13): 2668-2675.

[63] 宋杨，张艳敏，王传增，刘美艳，刘金，王延玲，陈学森 . 苹果光敏色素作用因子基因 PIF 的克隆和分析[J]. 园艺学报，2012，39(4)：743-748.
SONG Yang，ZHANG Yanmin，WANG Chuanzeng，LIU Meiyan，LIU Jin，WANG Yanling，CHEN Xuesen. Clone and expression analyzing of phytochrome-interacting factor gene PIF of spur type apple[J]. Acta Horticulturae Sinica，2012，39(4): 743-748.

[64] 宋杨，张艳敏，刘美艳，王传增，刘金，冯守千，王延玲，陈学森 . 短枝型苹果 MdRGL 基因的克隆及原核表达分析[J]. 中国农业科学，2012，45(7)：1347-1354.
SONG Yang，ZHANG Yanmin，LIU Meiyan，WANG Chuanzeng，LIU Jin，FENG Shouqian，WANG Yanling，CHEN Xuesen. Cloning and prokaryotic expression of MdRGL gene from spur-type apple (*Malus domestica* Borkh.)[J]. Scientia Agricultura Sinica，2012，45(7): 1347-1354.

[65] 宋杨，吴树敬，张艳敏，陈学森 . 短枝型苹果 SSH 文库构建及相关基因表达分析[J]. 中国农业科学，2013，46(20)：4301-4309.
SONG Yang，WU Shujing，ZHANG Yanmin，CHEN Xuesen. Construction of the suppression subtractive hybridization library and analysis of related genes of spur-type apple (*Malus domestica* Borkh.)[J]. Scientia Agricultura Sinica，2013，46(20): 4301-4309.

[66] 宋杨，张艳敏，吴树敬，冯守千，王传增，陈学森 . 短枝型苹果 MdGID1a 基因的克隆、表达及启动子序列分析[J]. 园艺学报，2013，40(11)：2237-2244.
SONG Yang，ZHANG Yanmin，WU Shujing，FENG Shouqian，WANG Chuanzeng，CHEN Xuesen. Cloning，expression analysis of MdGID1a gene and promoter from spur-type apple[J]. Acta Horticulturae Sinica，2013，40(11): 2237-2244.

[67] 王传增，张艳敏，徐玉亭，董飞，宋杨，刘美艳，刘金 . 陈学森苹果红色芽变香气组分及脂肪酸代谢相关酶活性分析[J]. 园艺学报，2012，39(12)：2447-2456.
WANG Chuanzeng，ZHANG Yanmin，XU Yuting，DONG Fei，SONG Yang，LIU Meiyan，LIU Jin，CHEN Xuesen. Analysis of aroma components and related enzymes of fatty acid metabolism of red bud sports[J]. Acta Horticulturae Sinica，2012，39 (12): 2447-2456.

[68] 陈学森，宋君，高利平，冀晓昊，张宗营，毛志泉，张艳敏，刘大亮，张芮，李敏 . ‘乔纳金’苹果及其脆肉芽变果实质地发育机理[J]. 中国农业科学，2014，47(4)：727-735.
CHEN Xuesen，SONG Jun，GAO Liping，JI Xiaohao，ZHANG Zongying，MAO Zhiquan，ZHANG Yanmin，LIU Daliang，ZHANG Rui，LI Min. Developing mechanism of fruits texture in ‘Jonagold’ apple and its crisp flesh sport[J]. Scientia Agricultura Sinica，2014，47(4): 727-735.

[69] JIANG S，WANG N，CHEN M，ZHANG R，SUN Q，XU H，ZHANG Z，WANG Y，SUI X，WANG S，FANG H，ZUO W，SU M，ZHANG J，ZHANG J，CHEN X. Methylation of MdMYB1 locus mediate by RdDM pathway regulates anthocyanin biosynthesis in apple[J]. Plant Biotechnology Journal，2020,18(8)：1-13.

[70] JIANG S H，SUN Q G，CHEN M，WANG N，XU H F，FANG H C，WANG Y C，ZHANG Z Z，CHEN X S. Methylome and transcriptome analyses of apple fruit somatic mutations reveal the difference of red phenotype[J]. BMC Genomics，2019，20: 117.

[71] JIANG S H，CHEN M，HE N B，CHEN X L，WANG N，SUN Q G，ZHANG T L，XU H F，FANG H C，WANG Y C，ZHANG Z Y，WU S J，CHEN X S. MdGSTF6，activated by MdMYB1，plays an essential role in anthocyanin accumulationin apple[J]. Horticulture Research，2019，6: 40.

[72] 邹养军，马锋旺，符轩畅，李翠英，安贵阳，李明军，李超，党志明 . 晚熟苹果新品种‘秦脆’[J]. 园艺学报，2019，46(5)：1011-1012.
ZOU Yangjun，MA Fengwang，FU Xuanchang，LI Cuiying，AN Guiyang，LI Mingjun，LI Chaoand DANG Zhiming. A new late ripening apple cultivar ‘Qincui’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2019，46(5)：1011-1012.

[73] 张玉刚，赵瑞雪，柏素花，孙晓红，刘源霞，祝军，戴洪义 . 苹果新品种‘福丽’[J]. 园艺学报，2016，43 (S2)：2681-2682.
ZHANG Yugang，ZHAO Ruixue，BO Suhua，SUN Xiaohong，LIU Yuanxia，ZHU jun，DAI Hongyi. A new apple cultivar ‘Fuli’[J]. Acta Horticulturae Sinica，2016，43(S2): 2681-2682.

[74] 丛佩华，张彩霞，韩晓蕾，田 义，张利义，李武兴 . 我国苹果育种研究现状及展望[J]. 中国果树，2018(6)：1-5.
CONG Peihua，ZHANG Caixia，HAN Xiaolei，TIAN Yi，ZHANG Liyi，LI Wuxing. Current research situation and prospect of apple breeding in China[J]. China Fruits，2018(6)：1-5

[75] WANG G S，YIN C M，PAN F B，WANG X B，XIANG L，WANG Y F，WANG J Z，TIAN C P，CHEN J，MAO Z Q. Analysis of the fungal community in apple replanted soil around bohai gulf[J]. Horticultural Plant Journal，2018，4(5): 175-181.

[76] 王晓宝，王功帅，刘宇松，陈学森，沈向，尹承苗，毛志泉 . 西北黄土高原地区苹果连作障碍与土壤真菌群落结构的相关性分析[J]. 园艺学报，2018，45(5)：855-864.
WANG Xiaobao，WANG Gongshaui，LIU Yusong，CHEN Xuesen，SHEN Xiang，YIN Chengmiao，MAO Zhiquan. Correlation analysis of apple replant disease and soil fungal community structure in the northwest loess plateau area[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(5): 855-864.

[77] YIN C M，XIANG L，WANG G S，WANG Y F，SHEN X，CHEN X S，MAO Z Q. How to plant apple trees to reduce replant disease in apple orchard: a study on the phenolic acid of the replanted apple orchard[J]. PLoS One，2016，11(12): e0167347.

[78] YIN C M，DUAN Y N，XIANG L，WANG G S，ZHANG X F，SHEN X，CHEN X S，ZHANG M，MAO Z Q. Effects of phloridzin，phloretin and benzoic acid at the concentrations measured in soil on the root proteome of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings[J]. Scientia Horticulturae，2018，228: 10-17.

[79] 王艳芳，潘凤兵，张先富，王鹏，陈学森，沈向，毛志泉 . 土壤中不同酚酸类物质对平邑甜茶幼苗光合及生理特性的影响[J]. 林业科学，2015，51 (2): 52-59.
WANG Yanfang，PAN Fengbing，ZHANG Xianfu，WANG Peng，CHEN Xuesen，SHEN Xiang，MAO Zhiquan. Effects of phenolic acids on growth and photosynthetic characteristics of seedlings of *Malus hupehensis*[J]. Scientia Silvae Sinicae，2015，51(2): 52-59.

[80] 王艳芳，潘凤兵，展星，王功帅，张国栋，胡艳丽，陈学森，毛志泉 . 连作苹果土壤酚酸对平邑甜茶幼苗的影响[J]. 生态学报，2015，35(19): 6566-6573.
WANG Yanfang，PAN Fengbing，ZHAN Xing，WANG Gongshuai，ZHANG Guodong，HU Yanli，CHEN Xuesen，MAO Zhiquan. Effects of five kinds of phenolic acid on the function of mitochondria and antioxidant systems in roots of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings[J]. Acta Ecologica Sinica，2015，35(19): 6566-6573.

[81] 尹承苗，胡艳丽，王功帅，张先富，周慧，沈向，陈学森，毛志泉 . 苹果连作土壤中主要酚酸类物质对平邑甜茶幼苗根系的影响[J]. 中国农业科学，2016，49(5)：961-969.
YIN Chengmiao，HU Yanli，WANG Gongshuai，ZHANG Xianfu，ZHOU Hui，SHEN Xiang，CHEN Xuesen，MAO Zhiquan. Effect of main phenolic acids of the apple replanted soil on the roots of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings[J]. Scientia Agricultura Sinica，2016，49(5): 961-969.

[82] 孙步蕾，王艳芳，张先富，沈向，陈学森，毛志泉 . 连作土壤中残根对平邑甜茶幼苗生物量及土壤酚酸类物质和微生物的影响[J]. 园艺学报，2015，42(1):131-139.
SUN Bulei，WANG Yanfang，ZHANG Xianfu，SHEN Xiang，CHEN Xuesen，MAO Zhiquan. Effect of residual roots on the biomass of *Malus hupehensis* seedlings，phenolic acids and microbiology in the soil of continuous cropping[J]. Acta Horticulturae Sinica，2015，42(1): 131-139.

[83] 王青青，胡艳丽，周慧，展星，毛志泉，朱树华 . 皮苷对平邑甜茶根系 TCA 循环酶的影响[J]. 中国农业科学，2012，45(15): 3108-3114.
WANG Qingqing，HU Yanli，ZHOU Hui，ZHAN Xing，MAO Zhiquan，ZHU Shuhua. Effects of phloridzin on the tricarboxylic acid cycle enzymes of roots of *Malus hupehensis* Rehd.[J]. Scientia Agricultura Sinica，2012，45(15): 3108-3114.

[84] YIN C M，XIANG L，WANG G S，WANG Y F，SHEN X，CHEN X S，MAO Z Q. Phloridzin promotes the growth of Fusarium moniliforme (*Fusarium verticillioides*) [J]. Scientia Horticulturae，2017，214: 187-194.

[85] 姜伟涛，尹承苗，段亚楠，相立，王玫，陈学森，沈向，张民，毛志泉 . 根皮苷和串珠镰孢菌加重苹果连作土壤环境及其对平邑甜茶生长的抑制[J]. 园艺学报，2018，45(1): 21-29.
JIANG Weitao，YIN Chengmiao，DUAN Yanan，XIANG Li，WANG Mei，CHEN Xuesen，SHEN Xiang，ZHANG Min，MAO Zhiquan. Phloridzin and *Fusarium moniliforme* aggravated the replanted soil environment and inhibited the growth of *Malus hupehensis* seedlings[J]. Acta Horticulturae Sinica，2018，45(1): 21-29.

[86] 尹承苗，王玫，王嘉艳，陈学森，沈向，张民，毛志泉 . 果连作障碍研究进展[J]. 园艺学报，2017，44(11): 2215-2230.
YIN Chengmiao，WANG Mei，WANG Jiayan，CHEN Xuesen，SHEN Xiang，ZHANG Min，MAO Zhiquan. The research advance on apple replant disease[J]. Acta Horticulturae Sinica，2017，44(11): 2215-2230.

[87] 陈学森，毛志泉，王楠，张宗营，王志刚，姜召涛，徐月华，东明学，李建明 . 我国果树产业新旧动能转换之我见Ⅲ：三位一体的中国式苹果宽行高干省力高效栽培法推动我国苹果产业转型升级，助力乡村振兴[J]. 中国果树，2019(4): 1-3.
CHEN Xuesen，MAO Zhiquan，WANG Nan，ZHANG Zongying，WANG Zhigang，JIANG Zhaotao，XU Yuehua，DONG Mingxue，LI Jianming. Trinity Chinese-style apple cultivation method of wide-line，high-trunk，energy-saving and high-efficiency promotes the transformation and upgrading of China's apple industry and promotes rural revitalization[J]. China Fruits，2019(4): 1-3.

[88] 陈学森，毛志泉，姜远茂，王志刚，王楠，张宗营，尹承苗，葛顺峰 . 我国苹果产业节本增效关键技术Ⅲ:果园生草培肥地力技术[J]. 中国果树，2017(3): 1-4.
CHEN Xuesen，MAO Zhiquan，JIANG Yuanmao，WANG Zhigang，WANG Nan，ZHANG Zongying，YIN Chengmiao，GE Shunfeng. The soil fertility improvement technology of growing grass in orchard[J]. China Fruits，2017(3): 1-4.

[89] 陈学森，王楠，张宗营，毛志泉 . 我国果树产业新旧动能转换之我见Ⅰ:果树产业新旧动能转换的卡脖子问题及其解决途径[J]. 中国果树，2019(2): 1-4.
CHEN Xuesen，WANG Nan，ZHANG Zongying，MAO Zhiquan. The bottleneck problems and solutions of new and old kinetic energy conversion in China's fruit industry[J]. China Fruits, 2019(2): 1-4.

[90] 陈学森，高东升，辛力，原永兵，刘成连，李文燕 . 给果园小草一点阳光，苹果更灿烂—苹果果实品质提升的途径与关键技术[J]. 落叶果树，2012，44(3): 1-4.
CHEN Xuesen，GAO Dongsheng，XIN Li，YUAN Yongbing，LIU Chenglian，LI Wenyan. Give the orchard a little sunshine，apples are more brilliant - the way and key technology of apple fruit quality improvement[J]. Deciduous Fruits，2012，44(3): 1-4.

[91] 陈学森，苏桂林，姜远茂，毛志泉 . 可持续发展果园的经营与管理—再谈果园生草培肥地力及其配套术[J]. 落叶果树，2013，45(1): 1-3.
CHEN Xuesen，SU Guilin，JIANG Yuanmao，MAO Zhiquan. Management and management of sustainable orchards—further discussion on soil fertility of orchard growing and fertilizing and its complementary techniques[J]. Deciduous Fruits，2013，45(1): 1-3.

[92] 陈学森，王艳廷 . 力推果园生草 建设生态文明[J]. 烟台果树，2014(1): 1-4.
CHEN Xuesen，WANG Yanting. Pushing the orchard to grow grass，building ecological civilization[J]. Yantai Fruits，2014(1): 1-4.

[93] 吴玉森，张艳敏，冀晓昊，张芮，刘大亮，张宗营，李文燕，陈学森 . 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响[J]. 中国农业科学，2013，46 (1): 99-108.
WU Yusen，ZHANG Yanmin，JI Xiaohao，ZHANG Rui，LIU Daliang，ZHANG Zongying，LI Wenyan，CHEN Xuesen. Effects of natural grass on soil nutrient，enzyme activity and fruit quality of pear orchard in yellow river delta[J]. Scientia Agricultura Sinica，2013，46(1): 99-108.

[94] 王艳廷，冀晓昊，张艳敏，吴玉森，安萌萌，张芮，王立霞，张晶，刘文，李敏，李文燕，陈学森．自然生草对黄河三角洲梨园土壤物理性状及微生物多样性的影响[J]. 生态学报，2015，35 (16): 5374-5384.
WANG Yanting，JI Xiaohao，ZHANG Yanmin ，WU Yusen，AN Mengmeng，ZHANG Rui，WANG Lixia，ZHANG Jing，LIU Wen，LI Min，LI Wenyan，CHEN Xuesen． Effects of self-sown grass on soil physical properties and microbial diversity of pear orchards in yellow river delta[J]. Acta Ecologica Sinica，2015，35 (16): 5374-5384.

[95] 王艳廷，冀晓昊，吴玉森，毛志泉，姜远茂，彭福田，王志强，陈学森 . 我国果园生草的研究进展[J]. 应用生态学报，2015，26 (6): 1892-1900.
WANG Yanting，JI Xiaohao，WU Yusen，MAO Zhiquan，JIANG Yuanmao，PENG Futian，WANG Zhiqiang，CHEN Xuesen. Research progress of cover crop in Chinese orchard[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2015，26(6): 1892-1900.

[96] 陈学森，张瑞洁，王艳廷，王楠，姜生辉，许海峰，刘静轩，王得云，曲常志，张艳敏，姜远茂，毛志泉 . 苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响[J]. 园艺学报，2016，43(12): 2325-2334.
CHEN Xuesen，ZHANG Ruijie，WANG Yanting，WANG Nan，JIANG Shenghui，XU Haifeng，LIU Jingxuan，WANG Deyun，QU Changzhi，ZHANG Yanmin，JIANG Yuanmao，MAO Zhiquan. Effects of growing hairy vetch (*Vicia villosa*)on the soil nutrient，enzyme activities and microorganisms in apple orchard [J]. Acta Horticulturae Sinica，2016，43(12): 2325-2334.

[97] ZUO W F，XU L，XU H F，WANG C，LU M S，CHEN X S. Effects of fermentation time on the nutritional components of red-fleshed apple (*Malus sieversii* f. *niedzwetzkyana*) cider[J]. Food and Bioproducts Processing，2019，114: 276-285.

[98] 张绍铃 . 当前我国梨产业发展面临的重大问题和对策措施[J]. 中国果业信息，2016，33（12）：12-14.
ZHANG Shaoling. Major problems and countermeasures facing the development of Chian’s pear industry[J]. China Fruit News，2016，33(12): 12-14.

[99] 张绍铃，谢智华 . 我国梨产业发展现状、趋势、存在问题与对策建议[J]. 果树学报，2019，36 (8): 1067-1072.
ZHANG Shaoling，XIE Zhihua. Current status，trends，main problems and the suggestions on development of pear industry in China[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(8): 1067-1072.

[100] 蒲富慎 . 我国梨的种质资源和梨的育种[J]. 园艺学报，1979，6 (2): 69-76.
PU Fushen. Germplasm resources and pear breeding in China [J]. Acta Horticulturae Sinica，1979，6(2): 69-76.

[101] ZHENG X，CAI D，POTTER D，POSTMAN J，LIU J，TENG Y. Phylogeny and evolutionary histories of *Pyrus* l. revealed by phylogenetic trees and networks based on data from multiple dna sequences[J]. Molecular Phylogenetics & Evolution，2014，80: 54-65.

[102] 李秀根，杨健，王龙，王苏珂 . 我国近 30 a 梨育种研究进展与今后工作建议[J]. 果树学报，2010，27（6）：987-994.
LI Xiugen，YANG Jian，WANG Long，WANG Suke. Progress and proposal in research of pear breeding in China[J]. Journal of Fruit Science，2010，27(6): 987-994.

[103] 王苏珂，李秀根，杨健，王龙，薛华柏，苏艳丽，王磊 . 我国梨品种选育研究近 20 年来的回顾与展望[J]. 果树学报，2016，33 (S): 10-23.
WANG Suke，LI Xiugen，YANG Jian，WANG Long，XUE Huabai，SU Yanli，WANG Lei. Current situation and perspective of pear breeding for last two decades in China mainland[J]. Journal of Fruit Science，2016，33(S): 10-23.

[104] TENG Y，TANABE K，TAMURA F，ITAI A. Genetic relationships of pear cultivars in Xinjiang，China as measured by RAPD markers[J]. Jounal of Horticultural Science & Biotechnology，2001，76 (6): 771-779.

[105] 陈学森，王楠，张宗营，冯守千，陈晓流，毛志泉 . 仁果类果树资源育种研究进展Ⅰ我国梨种质资源、品质发育及遗传育种研究进展[J]. 植物遗传资源学报，2019，20(4): 791-800.
CHEN Xuesen，WANG Nan，ZHANG Zongying，FENG Shouqian，CHEN Xiaoliu，MAO Zhiquan. Progress on the resource and breeding of kernel fruits Ⅰ：progress on the germplasm resources，quality development and genetics and breeding of pear in China[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2019，20(4): 791-800.

[106] 冯守千，王楠，姜生辉，许海峰，刘静轩，陈晓流，吴树敬，毛志泉，陈学森 . 晚熟梨新品种‘山农酥’[J]. 园艺学报，2016，43 (2): 2685-2686.
FENG Shouqian，WANG Nan，JIANG Shenghui，XU Haifeng，LIU Jingxuan，CHEN Xiaoliu，WU Shujing，MAO Zhiquan，CHEN Xuesen. A new late ripening pear cultivar ‘Shannongsu’ [J]. Acta Horticulturae Sinica，2016，43(2): 2685-2686.

[107] 李秀根，阎志红，杨健 . 优质抗病晚熟红皮梨新品种红香酥[J]. 园艺学报，1999，26(5): 347.
LI Xiugen，YAN Zhihong，YANG Jian. A high-quality，disease-resistant and late mature red Chinese pear variety Hongxiangsu [J]. Acta Horticulturae Sinica，1999，26(5): 347.

[108] 郭黄萍，郝国伟，张晓伟，杨盛 . ‘玉露香梨’的性状表现与栽培贮藏保鲜技术[J]. 落叶果树，2011(5): 41-43.
GUO Huangping，HAO Guowei，ZHANG Xiaowei，YANG Sheng. Character performance of ‘Yuluxiang pear’ and its cultivation and storage technolog[J]. Deciduous Fruits，2011(5): 41-43.