

新中国果树科学研究70年——李

刘威生,章秋平,马小雪,张玉萍,刘家成,张玉君,刘硕,刘宁,徐铭

(辽宁省果树科学研究所,辽宁营口 115009)

摘要:新中国成立以来,我国李树在种质资源考察、收集保存、鉴定评价和遗传育种研究(包括李种质资源的种类、分布,种间亲缘关系、系统关系和物种形成,品种群的形成和演化,种质资源的鉴定评价和优异资源的筛选,重要性状的遗传规律和育种)等方面取得了重要进展,对李芽分化、开花授粉生物学、光合生理、品质形成、环境胁迫、贮藏、加工技术等研究也做了回顾总结,对李种质资源针对性收集、精细评价、育种方向等今后研究的重点提出了建议。

关键词:李;新中国;70年;科学研究;回顾;展望

中图分类号:S662.3

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)10-1320-19

Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Plum

LIU Weisheng, ZHANG Qiuping, MA Xiaoxue, ZHANG Yuping, LIU Jiacheng, ZHANG Yujun, LIU Shuo, LIU Ning, XU Ming

(Liaoning Institute of Pomology, Yingkou 115009, Liaoning, China)

Abstract: China is the leading plum production country worldwide with a harvested area of 1 987 284 ha and a production of 6 804 399 t. Plum is the second largest deciduous fruit type following apple in planting area in China. Due to long growing history, wide eco-geographical distribution, unique complicated origin and domestication of plum, there are great diversity of plum germplasm resources in China, which is the important base for plum improvement and plum industry development for both China and the world. Plum genetic resources conserved or used in China include nine species such as *Prunus salicina* Lindl., *P. ussuriensis* Kov. & Kost., *P. simonii* Carr., *P. cerasifera* Ehrh., *P. domestica* L., *P. spinosa* L., *P. americana* Marsh., *P. nigra* Ait., and *P. insititia* L.. All the species except for *P. domestica* (both are hexaploidy), *P. insititia* (hexaploidy) and *P. spinosa* (tetraploid) are diploid. During the early years of the new nation, the research and utilization of plum resources dispersedly and sporadically appeared in few colleges or institutes. In 1980, the nationwide exploration, collection, conservation, characterization, evaluation and documentation, mainly based on botanical and agronomic traits, of plum genetic resources were launched funded by the former Ministry of Agriculture of China, and then the *Chinese National Germplasm Repository for Plums* was established in 1986, and *China Fruit-plant Monographs: Plum Flora* was published in 1998 based on the above-mentioned primary evaluation data. From 1990s, physiological and biochemical techniques were used to further evaluate plum resources, including cold tolerance, disease resistance, isozyme pattern, etc.. With the entry of the new century, precise evaluation was waged for accession diversity, genetic relationship, phylogenetic analysis, and primary core collection, core collection, small core collection, micro collection, applied core collection e.g. backbone or key parent to breeding were defined of plum genetic resources based on multi-disciplinary approaches e.g. botanical, palynological, biochemical, and molecular biological protocols. The inherited tendency of main or concerned agronomic traits in plum and the correlation of characters between F_1 and parents

收稿日期:2019-08-15 接受日期:2019-09-14

作者简介:刘威生,男,研究员,主要从事果树资源、遗传育种、栽培生理与技术研究。Tel: 0417-7032892, E-mail: wsluilaas@163.com

were analyzed using open or cross pollination populations in the early breeding experience mainly in northeast institute where plum cultivars were given more attention as many other fruit species can not grow well due to the cold temperature in winter. The plum cultivar evolution in China has gone through two stages. Local cultivars with strong aroma and good adaptability to local climate conditions had a soft flesh and poor appearance, while the introduced improved cultivars from west developed countries had firm flesh and attractive skin color but were tasteless and with poor resistance to low temperature or diseases (bacterial spot). The purpose of breeding efforts was made to combine advantages of the local and exotic cultivars and to breed cultivars for commercial growing with excellent flavor, firm flesh, attractive appearance and good adaptability to local conditions. Therefore, the breeding roadmap was figured out as the east crossing with the west equals to the best, with the integration of modern molecular biological technologies such as marker assistant selection, into traditional hybridization breeding programs. The research advances since the founding of the new China covers flower bud differentiation, pollination biology, photosynthesis, fruit development, stress physiology, postharvest handling, storage and processing techniques, which are also reviewed. Future priorities should be placed on the distinctive accessions collection, precise evaluation, association analysis based on phenotyping and genotyping, function marker development, key gene mining, control and regulation analysis of important economic traits, breeding for new cultivars specific to eco-geographical conditions, and R & D of plum physiology, growing and postharvest handling technology.

Key words: Plum; New China; 70 years; Scientific research; Review; Prospect

据FAO(2019)统计资料,我国李栽培面积198万 hm^2 ,产量680万 $\text{t}^{[1]}$,在北方落叶果树种类中,面积仅低于苹果(222万 hm^2),高于梨(95万 hm^2)、桃(78万 hm^2)和葡萄(77万 hm^2),是我国重要的落叶果树种类之一。

远在5 000~6 000年前的新时期时代或战国时代,我们的祖先就采食李果,而李的栽培历史至少有3 000年^[2],是我国传统的“五果”(即桃、李、杏、枣和板栗),利用、栽培历史悠久^[3]。李是分布最广泛的果树之一,我国几乎各省区均有野生或栽培,尤其在边远山区、民族地区和较落后地区。不同李的种分别独立在三大洲起源和驯化,如欧洲李(*Prunus domestica* L.)在欧洲、櫻桃李(*P.cerasifera* Ehrh.)在西亚和中亚、中国李(*P.salicina* Lindl.)在中国、美洲李(*P.americana* Marsh.)等在北美洲^[4]。悠久的栽培利用历史、广泛的地区分布、复杂的起源进化途径,使李具有丰富多样的种质资源。世界上约有6 000个李品种,来自19~40个种,具有其他果树没有的更丰富的多样性^[5]。

李分布广,但多分布在边远、较落后地区;面积大,但很多是自然分布或野生半栽培状态;加之,过去对特色果树种类的资源、育种和产业技术重视、研究不够,所以李的产业化程度较低、单产远不及其他

果树。

在果树生产结构性过剩和果业结构调整,果品消费升级和特色化、多样化需求渐盛的背景下,在国家支持特色产业发展、鼓励农旅结合、倡导青山工程的形势下,特色鲜明、多样性丰富、适应性广、适合山区栽培并且发展相对滞后的李,对我国果业协调、可持续、生态化发展具有重要的作用。

1 李种质资源研究进展

关于*Prunus*属的分类仍有争议。林奈前的分类学家,认为*Prunus*属仅包括李(Plum)。林奈虽沿用同一属名*Prunus*,但把李、杏、櫻桃、桃等均包括在这个属中^[6]。在科学出版社和密苏里植物园出版社联合出版的《中国植物志》(英文修订版)(1989—2013)中,仍按我国传统的俞德浚分类办法,在蔷薇科(Roaceae)中,包括李属(*Prunus* L.)、桃属(*Amygdalus* L.)、杏属(*Armeniaca* Mill.)、櫻属(*Cerasus* Mill.)等。本文采用中国传统分类方法。

1.1 种质资源的种类、分布与收集

世界上李属(*Prunus*)共有19~40个种,其中有些是种间杂交种^[4]。在我国保存或栽培的有中国李、乌苏里李(*Pussuriensis* Kov. & Kost.)、杏李(*P.simonii* Carr.)和櫻桃李、欧洲李、黑刺李(*P.spinosa*

L.)、美洲李、加拿大李(*P.nigra* Ait.)和乌荆子李(*P.insittia* L.)等9个种^[2]。目前栽培的李主要为二倍体中国李(别名‘日本李’)和六倍体欧洲李(俗称‘西梅’)

中国是中国李的起源中心和分布中心。张加延等在李种质资源考察中发现云南西双版纳地区有李树资源分布^[7]。郭忠仁等在南方七省的李资源考察中,指出贵州省盘县至云南泸水、祥云、中甸一带有野生中国李分布^[8]。黔南山区的李资源均为中国李,品种多、分布广,类型分豆李与苦李^[9]。广东北江上游地区也有野生李分布,经长期选择,逐渐驯化出耐湿热的、需冷量<600 h的地方品种,其中罗浮山南麓的早食李、串珠李等资源几乎无低温休眠^[10]。张静茹等认为在东北高寒地区(北纬44°~53°)有4个李种的分布或栽培,集中在北纬44°~48°,品种多为中国李或乌苏里李地方品种^[11]。可见,中国李分布广泛、环境适应性强,几乎在我国各省区均有分布或栽培,著名的地方品种如浙江的携李,福建的棕李、芙蓉李,广东的、三华李,贵州的蜂糖李,云南的玫瑰李,四川的脆红李,重庆的青脆李,陕西的玉皇李,山东的平顶香,东北的窑门李等。

20世纪80年代之前未发现欧洲李的野生分布区域。施丽(1980)首次在新源县交托海野果林中发现野生欧洲李;为了进一步查明其分布情况,林培钧等人对伊犁野果林进行了系统调查,认为野生欧洲李在巩留、新源等地共有7个分布点,但居群较小,最大的阿勒马寨野果林也仅有2 000多株野生欧洲李^[12]。通过染色体核型分析,发现新疆栽培的酸梅与伊犁野生欧洲李均为六倍体,认为新疆酸梅即为伊犁野生欧洲李^[13]。

野生樱桃李主要分布于中亚地区,我国新疆有少量栽培。1990年在伊犁地区科古尔琴山的大西沟和小西沟首次在我国发现野生樱桃李的分布,主要集中于海拔1 000~1 600 m的沟谷水边和多石砾的阳坡地,面积约有几千亩,根据樱桃李植物学特征,将其分为18个不同类型,且多样性丰富^[14-15]。对野生樱桃李的发掘与利用研究也逐渐增加^[16-17]。

1949年建国初期,李种质资源收集、保存、评价工作零星地在部分院校、科研机构进行。自1981年农业部下达建设国家果树种质资源圃开始,辽宁省果树科学研究所开始组织全国相关科研单位、大专院校系统进行了全国李种质资源考察、收集、保存、

鉴定、评价工作,并于1986年建立国家果树种质熊岳李杏圃,截至2018年底,该圃共保存李属资源9个种734份资源。

1.2 种间的系统关系及物种形成

对国家果树种质熊岳李杏圃采集的李属6个种226份种质资源进行了染色体数目鉴定和核型分析,认为中国李、杏李、乌苏里李的核型相似,成为一个系统;欧洲李与樱桃李的核型相近,属另一个系统;而美洲李的核型自成一个系统,其结果与各种群的起源、分布吻合;樱桃李为李属植物的原始种^[18]。通过分析28份李资源的过氧化氢酶酶谱特征,认为中国李和美洲李亲缘关系较近,与欧洲李较远,而水李(中国李)与欧洲李聚类在一起^[19]。通过在ITS序列分析,发现中国李与杏李,欧洲李、樱桃李与黑刺李各聚合成一小支^[20]。

在东方种群中,栽培最多的是中国李,其次还有少量的杏李和乌苏里李。《中国果树志·李卷》将杏李和乌苏里李分别视为独立的一个种^[7]。杏李主要栽培于我国华北地区,其果肉硬、有特殊香味,尚未发现野生分布,认为可能是普通杏和中国李种间杂种^[21]。用RAPD技术分析李亚属9个种的亲缘关系,认为杏李是李杏杂种且与普通杏有较近的亲缘关系^[22],Liu等则认为杏李应是中国李的变种,并且在成种过程中,“建立者效应”发挥了重要作用^[23-25]。通过核SSR与叶绿体SSR分子标记认为杏李应该是高度驯化的中国李^[26]。乌苏里李是黑龙江等地的野生种群,具有极强的抗寒能力,Faust等^[6]认为是中国李的一个变种,而非独立种。乌苏里李在形态上很像中国李,Liu等^[23]认为其进化历史久远,与原产于长江流域的中国李在抗寒性方面有显著区别,应是一个独立的种。在对不同品种群的李多样性分析时,发现东北栽培李品种群与同域分布的乌苏里李之间存在着基因渗透作用,这可能是乌苏里李分类地位存在争议的主要原因^[27]。

欧洲李在国外被广泛栽培,但有关欧洲李的起源一直存在着争论。细胞学研究指出欧洲李起源于一个由二倍体的樱桃李和四倍体的黑刺李杂交的杂种后代^[4],ITS系统发育树也支持这一结论^[20]。Faust等^[6]也认可欧洲李是自然杂交形成的异源多倍体,证据是樱桃李和黑刺李的自然分布地在土耳其、伊朗和希腊等区域存在着重叠,但是在这些区域并未发现欧洲李的野生群落。林培钧等在新疆发现有野

生欧洲李分布,但是仅在距其300 km以外的山谷中有野生櫻桃李分布,未找到黑刺李的分布。因此,很难支持欧洲李来源于櫻桃李和黑刺李天然杂交的假说^[12]。通过核型特征分析,认为塔城酸梅与野生欧洲李的亲缘关系较近^[28]。通过孢粉学扫描电子显微镜观察认为栽培欧洲李可能由野生欧洲李演化而来^[29]。耿文娟^[30]通过形态学、孢粉学以及SSR分子标记认为7个分布点的野生欧洲李亲缘关系较近,遗传多样性较差。刘威生^[31]认为欧洲李可能是由黑刺李演化而来的,而黑刺李本身可能融合了櫻桃李和其他李的基因;新疆的野生欧洲李则可能是通过栽培欧洲李的种子传播到新疆并归化的结果,并非是栽培欧洲李的祖先。

1.3 中国李栽培品种群的形成与演化

通过ISSR分析表明贵州分布的中国李多样性极为丰富($I=0.508$)^[32],通过表型数据的主成分分析,认为南方品种群位于分布图中心,是最为原始的类型^[33]。通过孢粉学观察,也认为南方李比北方李原始,中国李的传播是从南向北进行的,且在传播过程中逐渐形成了进化程度不一的品种^[34]。用3种分子标记对中国李资源多样性分析,表明中国李资源的遗传基础广,并将中国李品种分为南方品种群和北方品种群两大类^[35]。用100余份李属种质资源的多样性,认为RAPD和ISSR聚类分析的结果均不能反映样品的地理分布,只有SSR的聚类结果反映出了样品的地理分布,将中国李品种群划分为3个品种群,即东北品种群、北方品种群以及南方和国外品种群;北方品种群的形成与杏李相关,东北品种群的形成与乌苏里李有关^[31],并且认为国外育成品种与我国南方品种亲缘关系较近^[36-37]。事实上,国外栽培品种是我国某地区栽培李经由日本传到美国后与近缘种美洲李或櫻桃李等杂交改良形成的,但并没有确切记录。通过SSR标记分析,认为栽培中国李可以划分为华北品种群、东北品种群、南方小果脆肉品种群和南方大果品种群(包括国外引进品种),且国外育成品种的间接亲本可能来源于我国南方江浙或台湾;东北品种群形成则与乌苏里李基因渗透有关^[27]。

李属许多植物起源于中国,具有分布范围广、生殖隔离不严格等特点。李属不同种间自然杂交产生了许多种间杂交类型^[26]。利用同工酶技术对‘阜城杏梅’和‘张家口杏李’进行鉴定,认为这2份种质属于普通杏和中国李的自然种间杂种,且不属于杏李,

而应另属一新种^[38]。将李杏自然杂种类型命名为李梅杏(*A. limeixing*),利用RAPD分子标记分析亲缘关系,认为李杏杂种‘转子红’与中国李亲缘关系较普通杏更近^[22]。对李梅杏种质资源进行RAPD和S等位基因的PCR扩增分析,表明李梅杏与李的进化趋同性可能较杏更近^[39]。通过A. limeixing)的母系亲本提供者^[40]。

植物育种家布尔班克在现代李育种早期,就利用中国李、杏李与本地櫻李组的美洲李等进行杂交,以提高栽培品种的适应性。后来,在美国加州李育种中,经过70多年的李和杏人工杂交育种,选育出‘Pluot’、‘Plumcot’和‘Aprium’等一系列品种,这些品种果实色泽艳丽、香气浓郁、风味独特,丰富了果树品种,我国21世纪初引进的‘恐龙蛋’、‘味帝’、‘风味皇后’等是该类型的系列品种^[41]。尽管将这些人工杂交形成的品种也称为“杏李”,但与杏李(*P. simonii*)是两种完全不同的植物。

1.4 种质资源的评价与优异种质筛选

蒲富慎主持编写的《果树种质资源描述符》一书对李种质资源的调查项目进行了规定^[42];2005年对此内容进一步细化和修订出版了《李种质资源描述规范和数据标准》^[43]。随后,参照国际李、杏种质资源描述符,结合我国资源的特点制定了《农作物种质资源鉴定技术规程 李》^[44]、《农作物优异种质资源评价规范 李》^[45]和《李种质资源描述规范》^[46]等系列行业标准。

对李属8个种230份资源的单果质量、可溶性固形物含量、总糖含量与果实发育期等鉴定,探讨了重要性状的分级评价标准^[47],认为中国李的叶形、果形、果皮彩色和果肉色泽等性状均表现丰富的多样性,不同数量性状的变异系数为14.85%~47.09%,单果质量的变异系数最大^[33]。用405份中国李材料,通过最小距离逐步取样法(ILDSS)构建出由97份种质材料组成的中国李初级核心种质,该核心种质代表我国李种质资源86%的遗传多样性^[48]。

通过高效液相色谱(HPLC)技术对李属种质果实糖酸组分与含量进行检测,欧洲李果实以葡萄糖积累为主,其余种以蔗糖为主;有机酸类型则主要是苹果酸^[49]。分析李果实的芳香物质,认为‘蜜思李’为酯香型,而‘红果櫻桃李’为醇香型。通过顶空固相萃取结合气质联用技术对6个类群75个李品种的

果实芳香物质组成和含量进行检测,共检测到7类88种芳香物质,其中醛类、酯类、萜类和醇类物质是李果实中的主要香气物质,而中国李的主要香气物质为酯类物质,‘水李’、‘鸡心李’和‘五月李’香气物质含量最高^[50]。

与其他果实相比,李果实中的维生素C含量、膳食纤维含量、多酚类物质含量和抗氧化活性能力都相对较高^[51]。通过测定59份代表种质的清除DPPH、ABTS自由基能力、还原Fe³⁺能力(FRAP)和总酚含量,发现李种质间抗氧化活性和总酚含量变异很广,但不同颜色李品种抗氧化活性和多酚含量差异不显著^[52]。不同种质李果实酚类物质组成及含量差异明显,采用HPLC技术测定8份李种质果实酚类物质种类,‘红布林’富含绿原酸、原花青素B₂;‘晚熟红’则富含芦丁和槲皮素-吡喃阿拉伯糖,而‘安哥诺’富含槲皮素-半乳糖^[53]。检测13份野生櫻桃李源后,认为其多酚组成和含量存在丰富的多样性,而原花青素B₁、儿茶素、绿原酸等是野生櫻桃李的主要多酚物质^[16]。

对332份李种质资源自花坐果率进行了调查,只有少数中国李资源具有自花结实能力(生漠冰脆李、大青棵等),而大多数李资源属于自花不结实或自花坐果率极低(69.7%的品种自花坐果率不足2%)^[54-55]。

李细菌性穿孔病是多雨地区的主要病害。对450余李种质资源枝条、叶片和果实的感病性进行了调查,认为李资源枝、叶、果对细菌性穿孔病的感病性无相关性,大部分南方小果种质与东北抗寒小果型种质的枝条属于高抗资源^[56]。通过田间叶片接种观察发现,12个中国李的品种中没有发现免疫品种;乌苏里李、黑刺李、櫻桃李中的红叶李属于免疫材料^[57]。

通过外渗电导法、褐变观察法和恢复生长法测定了李属36个代表品种和类型的抗寒性,结果表明起源地的生态条件与品种的抗寒性密切相关;李的抗寒性表现出丰富的多样性,且多数李品种对低温的适应能力较强^[58]。用电导率法计算出34个李品种的半致死温度,认为李不同品种的半致死温度范围为-26.19~-36.54℃,且抗寒性按俄罗斯品种、东北地方品种、人工培育品种依次下降^[59]。在黑龙江绥棱地区对61个李品种(系)进行了田间抗寒性调查,认为13个李品种(系)无冻害,38个李品种(系)

轻度冻害,10个李品种(系)中度冻害,并筛选出适合于北纬46°以北地区栽培的极抗寒品种^[11,60]。

2 李性状遗传规律与育种研究

2.1 重要性状遗传规律

基于‘绥棱红’与‘六号李’的自然实生后代的分离情况,认为果皮有色对无色的分离比例符合3:1遗传^[61]。统计多个杂交组合后,认为在红×黄的杂交组合中有8.01%的后代果皮为黄色,黄×黄杂交的组合中81.2%的后代果皮为黄色;而2亲本果皮皆为红色则96.5%的后代果皮颜色为红色,因此认为李果皮颜色主要受1对基因控制,且有色对无色为显性性状^[62]。半离核的‘绥棱红’以及黏核的‘六号李’自然实生后代中黏/离核比例均为3:1,表明‘六号李’与‘绥棱红’皆为杂合性基因型,并且黏核为显性遗传。在调查‘六号李’(易感病)与‘绥棱红’(不感病)的自然杂交后代抗红点病的分离比例后,认为李抗红点病的遗传为1对基因控制的完全显性性状,且‘绥棱红’李为杂合型^[63]。

调查不同实生群体的花后,发现后代群体的平均花期均晚于亲本,且父性遗传可能对花期遗传有较大影响^[63]。中熟品种与晚熟李品种杂交后代群体的成熟期均表现为延后,但无法得出父母本遗传的特殊性^[61];调查中、晚、极晚熟品种间的杂交组合,各杂交组合F₁代的平均果实成熟期均比亲中值延后,并且母本对后代成熟期的影响大于父本^[64]。

果实大小是由多基因控制的数量性状,在杂交后代群体中表现出明显的衰退趋势,从而使杂交后代果实偏小。以单果质量为34.6g的‘绥棱红’与单果质量为31.8g的‘六号李’为亲本,在正反交的两个群体中,绝大多数后代果实大小较双亲偏小^[63]。中国李品种自然杂交后代的果实大小平均值小于亲中值,呈小果变异的趋势,但后代果实大小平均值受母本影响较大,具有母性遗传的倾向,建议在今后的育种工作中若需选育大果品种,则需使用大果亲本以增加大果后代出现的概率^[65]。

果实品质为连续变异的数量性状遗传。李品种杂交后代综合品质的平均值明显高于低亲值,而双亲值相似时其遗传传递力最强^[66];在‘绥棱红’与‘六号李’的自然实生后代中果实品质的平均值则低于亲中值^[61],并且李果实的可溶性固形物含量呈趋中遗传;通过对4个杂交组合的可溶性固形物含量研

究发现,在不同组合后代中可溶性固形物含量分离广泛,但不同组合中会出现少量超低亲或超高亲后代。李杂交组合后代的果实酸度变异较大、呈广泛分离;但后代平均酸度普遍低于亲中值,且母本对后代总酸含量有较大的影响^[66]。在两个无香气的亲本杂交后代中,调查发现超过半数的株系果实含有香气^[61],有关李果实香气的遗传特点仍需进一步探究。

通过观察高抗‘六号李’与低抗‘绥棱红’的杂交后代,发现部分后代在抗寒性方面表现出超亲遗传的现象,认为李树抗寒性为多基因控制的数量性状遗传^[63]。通过6个亲本351个杂交后代的抗寒性调查,发现杂交后代抗寒等级与母本相同的株系在各杂交组合中所占比例最大;对不同杂交组合的抗寒性调查后,认为后代株系的抗寒力大多低于母本,而强于父本,且后代株系的抗寒力平均值高于亲中值^[65]。

2.2 育种研究

为了满足果树生产中对李新品种的需求,我国育种工作者从20世纪五六十年代开始了以抗寒、丰产、优质为目标的李育种工作。我国自主育成、通过品种审定并正式发表的李品种有64个,东北三省科研单位育成品种37个,占总数的57.81%,是我国李育种的主要单位,其次是新疆、山西、陕西、广东等省份的科研院所^[67]。我国最早的李育成品种为1956年由吉林省农业科学院果树科学研究所从地方品种‘窑门李’(亦称‘东北美丽’)和‘红干核’杂交种子后代中筛选出的单株‘六号李’(亦称‘跃进李’)^[68],该品种在随后的‘长李’系品种选育中发挥了重要作用。随后60-70年代,处于高寒地区的黑龙江、吉林等省果树科研单位及大学针对寒冷气候环境开展了寒地李新品种育种研究,相继培育出‘绥棱红’‘绥李三号’和‘长李7号’‘长李17号’^[69-70]等品种。同一时期,我国新疆生产建设兵团农七师果树研究所来自我国东北地区的‘窑门李’为母本,通过自然实生方式先后选育出‘奎丰’‘奎丽’和‘奎冠’^[71-72]3个优质品种。该时期的育种方式主要以实生选种为主。

随后的20年,我国李育种研究工作发展到一个新的阶段,以黑龙江、吉林两省为主的果树科研单位及大学,人工杂交和实生选育一批李新品种,为我国开展现代李遗传育种研究奠定了基础,其中一些品种,如抗寒、极早熟品种‘长李15号’和大果、丰产的‘龙园秋李’^[73-74]等在我国李产业发展中发挥了积极

作用。

自2000年开始,我国各地农业科研单位及大学纷纷开展李品种育种工作,包括黑龙江、吉林、辽宁、河南、陕西、山东、山西、重庆、浙江、福建和广东等省份的十几家科研单位,培育了包括‘秋香李’‘牡丰’和‘红晶李’‘巴山脆李’^[75-78]等优良李新品种。纵观我国历年育成的李品种,主要是通过实生和杂交方式获得,以地方品种实生选种或中国李间杂交为主,芽变品种占少数。分析我国历年育成的李品种系谱发现,在我国选育的李品种中大多数亲本是具有我国地域特点的地方优良品种,且直接或间接来自少数几个亲本,如东北育成品种中的‘福摩萨’‘六号李’‘绥棱红’和‘绥李3号’。

一般地讲,我国李地方品种具有鲜食品质佳、适应性强,但外观差、不耐贮运的特点;国外引进品种外观好、耐贮运,但鲜食品质欠佳、适应性较差的特点。在对我国李种质资源特点、产业需求、育种现状分析的基础上,提出我国李品种改良的路径,即利用地方品种优质、适应性广、抗病性强的品种与国外引进的外观美、耐贮运品种杂交,选育优质、耐贮、高抗的李新品种^[3]。辽宁省果树科学研究所国家果树种质熊岳李杏圃主要利用国外引进的外观好、耐贮运品种与国内优质、适应性强的地方优良品种进行杂交,选育出‘国美’‘国丽’和‘国峰’李新品种(系)^[79-80],由于兼具地方品种优质、适应性强和国外引进品种果肉较硬、外观好的特点,表现出明显的应用潜力。

3 李的花芽分化与授粉生物学

3.1 花芽分化的特点

按照花器官原基出现早晚,一般将李花芽形态分化分为未分化期、开始分化期、萼片分化期、花瓣分化期、雄蕊分化期和雌蕊分化期共6个时期。在生理分化期,体内含水量降低,可溶性糖、全氮、游离氨基酸和内源亚精胺等代谢产物含量出现高峰,而内源腐胺、精胺代谢产物含量出现低峰^[81]。‘马群黄’李花芽形态分化从6月底—9月上旬,持续时间长,但旺盛期在7月上—8月中;雄蕊和雌蕊分化的间隔期短,或几乎同时出现^[82]。浙江‘携李’的各花芽分化时期有重叠现象^[83]。在河北易县极早熟品种‘大石早生’李的花芽形态分化自6月初开始至10月底结束,分化盛期集中在7—9月份,整个过程需要

150 d^[84];而晚熟品种‘安哥诺’和‘黑宝石’的花芽形态分化自8月中旬开始至12月下旬结束,整个分化过程历时130 d^[85]。在黑龙江地区花芽分化起始于初花后8~9周,不同品种间的分化期主要集中在6月中旬至8月上旬^[86]。福建的‘芙蓉李’整个花芽形态化过程从7月3日开始至12月15日止,共经166 d,其中前期分化速度较慢,瓣分化期后进程加快^[87]。长沙地区李花芽分化始于6月上旬,止于11月中旬^[88]。南京地区的‘黄皮李’花芽分化从6月上旬到11月上旬^[89]。

新疆伊犁野生櫻桃李和野生欧洲李的花芽形态分化始于6月下旬,从开始花芽分化到雌蕊原基分化形成为止,整个分化时间约持续70 d,各分化时期均有重叠现象^[90-91]。冯贝贝等^[92]认为栽培欧洲李不同品种间进程快慢不同,‘斯坦勒’的雌蕊原基最先完成分化,其次是‘女神’,最后是‘法兰西’。杏李杂种的花芽分化进程与李品种相同,且各时期均存在重叠交错现象;在新疆地区杏李的花芽分化开始于6月下旬终止于10月上旬^[93]。可见,李的花芽分化具有分化持续时间长、分化盛期相对集中、各时期有重叠现象的特点。

3.2 开花授粉和结实性

不同品种或年份间少数李花朵有雌蕊退化现象,‘南京紫李’不完全花率为38.2%,而‘早黄李’‘黄皮李’‘紫皮李’和‘红心李’退化不明显^[94]。李杏杂种‘风味玫瑰’的雌蕊败育情况,2012年不完全花率不到10%,2013年柱头退化率高达53.10%,而2014年则为18.79%,不同年份间雌蕊萎缩退化存在显著差异,但是同一年份的不同植株之间的差异不显著,认为开花前的持续高温可能是‘风味玫瑰’花柱退化的主要原因^[95-96]。

不同品种间每个花药花粉量变化范围为300~733粒^[97],3个欧洲李品种‘斯坦勒’‘法兰西’与‘女神’的单花花粉量分别为 5.00×10^4 、 3.12×10^4 、 1.45×10^4 粒,且花粉萌发率均大于20%,这3个欧洲李品种自交坐果率比较低的原因应该是由自交不亲和引起的^[98]。用过氧化物酶染色法测定,认为李品种花粉活力普遍较低,一般不超过40%^[99]。通过5份李品种的花粉生活力检测认为‘棕李2号’的花粉生活力显著较高其他4个参试品种^[100]。测定了7个中国李品种花粉生活力,认为‘芙蓉李’的花粉生活力最强^[88]。在5个国外引进品种中‘黑宝石’李的花粉发

芽率最高^[101]。在杏李品种中‘风味皇后’与‘恐龙蛋’的花粉活力最高^[102]。李花粉的发芽率并非在采集后的前几天最高,而是在贮藏一定时间后才达到最大值^[103]。

温度是影响花粉发芽的重要因素。‘黑宝石’李在24℃下花粉萌发效果最好^[101]。测定15个国外李品种后,认为国外李品种花粉适宜的发芽温度为15~20℃,花期低温或高温均能够影响李花粉的生活力^[104]。采用培养基萌发法对来自3个省份的14个李品种花粉进行了生活力、萌发率及花粉管长度测定,结果认为来自山东省的李花粉萌发率普遍高于辽宁省和福建省^[105]。

花粉生活力随着贮藏时间的延长均呈下降趋势,但不同温度下降幅度存在明显差别。‘紫叶李’的花粉在-20℃条件下贮藏20 d后仍保持一定的萌发率,而在室温或-4℃条件下花粉的萌发率则接近于0%^[106]。‘青脆李’在4℃时可能保存30 d左右,但是长期贮藏则以-18℃为宜^[107]。温度直接影响野生櫻桃李的花粉保持生命力的时间,4℃低温可以有效延长花粉的保存时间^[108]。‘恐龙蛋’的花粉活力普遍较低可能是花期温度较低所致^[96]。

中国李和欧洲李大多数品种是自花不结实,多数采用异花授粉来提高结实率。332份李种质资源中,仅有少数几份资源具有自花结实能力^[55]。但西南的‘空心李’品种自交授粉坐果率为12.59%,可以不用授粉树^[97]。‘晚红’李异花授粉坐果率(22.6%),显著高于自花授粉(0.9%),在栽植李树建园时大多数李品种必须配置授粉树,才能达到丰产^[109]。棕李的自花结实率为5.3%^[88],异花授粉有利于提高坐果率^[100]。‘牡丰’李的自交坐果率为0.6%,通过配置授粉品种后自然坐果率可达45.3%^[111]。‘秋姬’的自然坐果率最高^[112]。‘秋甜’李自花结实率低,仅为2.3%,当与‘长李15’和‘牡红甜’李等品种栽植在一起后,其坐果率较高且无大小年现象^[113]。

用‘莫尔塔尼’‘秋姬李’‘红心李’的花粉均可显著提高‘风味皇后’的坐果率^[114]。‘芙蓉李’是‘柰李’的最佳授粉品种^[88]。‘绥李5号’的授粉品种以‘九台晚李’‘吉林6号’‘野生小李子’等为主^[115]。由于‘携李’为自交不亲和品种,以‘蜜李’作为授粉品种坐果率最高,其次为‘麦熟李’^[116]。‘芙蓉李’和‘美丽李’可作为‘大石早生’的授粉树,‘北京晚红’可作为‘美丽李’的授粉树^[117]。‘黑琥珀’用‘凯尔斯’授粉坐果

最好^[118]。

4 李的栽培生理研究

4.1 光合生理

通过对自然生长的‘黑琥珀’李和‘绥李3号’的光合特性出现明显的“午休”现象^[119-120]。而杨建民等^[121]对设施栽培与露地栽培条件下‘大石早生’的光合特性比较发现不同栽培条件下净光合速率的日变化规律均呈单峰曲线,无“午休”现象。但是,在测定‘红宝石’‘紫李’和‘黑琥珀’的幼树光合速率后,发现晴天时这3个李品种净光合速率日变化曲线呈现双峰型,阴天时呈现出单峰型,而多云天气表现出不规则的双峰型^[122]。

李树光合速率的季节性变化也呈现双峰曲线,但不同地区观察到的高峰期时间不同。于泽源等^[120]测定‘绥李3号’李光合速率的季节变化后,李树光合速率的季节变化呈双峰曲线,在哈尔滨地区两次高峰出现在6月下旬和8月下旬,此时分别是新梢临近停长期和果实采收后。然而,在武汉地区两次高峰分别在5月底和9月底^[122]。

李叶片的净光合速率在 $13.5\sim 17.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,但不同品种间存在着较大差异^[123]。如‘黑琥珀’与‘大石早生’净光合速率的日变化最大值为 $17.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ^[119];而‘绥李3号’净光合速率的日变化最大值为 $13.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;不同叶位叶片净光合速率存在一定差异,枝条中部和中上部叶片发育充实,净光合速率较大且具有较强的稳定性。李树叶片着生方位不同,可能由于受光量的区别,使其净光合速率亦会存在很大差异,叶片方位大体朝南的光合速率高而其他朝向的叶片相对较低^[120]。

不同李品种的光合最适温度有一定差异,‘黑琥珀’李的光合最适温度在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右^[119],‘大石早生’李的最适温度范围为 $25\sim 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[121]。

适当提高钾能够增加‘柰李’叶片的叶绿素含量和比叶重,改善叶片的叶绿素荧光特性与光合速率,从而提高果实品质^[124]。同时,钾肥还能够有效延缓‘柰李’树木光合作用的“午休”现象^[125]。

4.2 果实品质形成

李果实可溶性糖的主要组分因品种而异,有机酸则主要以苹果酸为主^[49]。中晚熟李品种含糖量高,早熟品种含糖量相对较低;生长期越长,成熟期果实含酸量越低^[126]。‘蜂糖李’果实中糖含量的变化

均随着果实的生长发育而增加,而苹果酸含量则逐渐下降,在果实成熟时糖酸比达到最高值^[127]。幼果期是苹果酸积累的关键时期,而果实成熟期则是糖积累的关键时期,在这种转化过程中主要同PEPC和NADP-ME协同调控有关^[128]。

李果实中氨基酸主要以天冬氨酸为主^[129]。在果实发育过程中,维生素C含量以早期积累为主,之后逐渐降低,成熟时达到最低点^[126]。李果皮、果肉中多酚提取物均具有较强的抗氧化能力,花色苷、类黄酮、类胡萝卜素等物质与清除 $\cdot\text{OH}$ 、及DPPH \cdot 的能力呈显著正相关^[130-131]。比较不同果皮颜色、果肉色泽与抗氧化物质含量的关系,认为色泽与抗氧化物质含量均没有明显相关性^[52,132]。分析‘秋姬李’不同温度和光照处理条件下果皮中*PsMYB18*基因的转录情况,表明*PsMYB18*可抑制正调控因子*PsMYB10.1*和*PsbHLH3*的花色苷合成诱导功能,其为花色苷合成抑制因子^[133]。

CPPU、GA₃、PBO均可提高果实的可溶性固形物、总糖和维生素C含量,提高果实品质^[134]。内源激素ABA、IAA、GA₃和乙烯等协同参与了李果实花青苷积累过程的调控,ABA和乙烯是花青苷合成的重要诱导因子,共同促进花青苷的积累,GA₃和IAA能够促进果实维管束发育和调运养分,共同参与花青苷合成的生理过程,从而提高李果实的外观品质^[135]。

施用农家肥可提高土壤有机质、全氮、全磷和速效钾含量^[136],并可显著提高李的果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖含量,降低可滴定酸含量^[137-138]。施用钾肥不仅能够改善果实的外观品质,还能够显著地提高果实的内在品质,并且可以明显地提高果实的贮运特性^[124,139]。

为了有效防止李裂果问题,从乙烯利抑制果实水分超量吸收和GA₃促进表皮增长角度入手,比较分析不同处理果实内物质含量及果皮细胞结构差异,结果表明,采收前30 d左右向果实均匀喷布 $0.5\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙烯利,并于次日再用 $0.5\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ GA₃喷布1次可有效防止李裂果,并可提高果实可溶性糖、维生素C含量,认为果实表皮细胞与下皮层细胞生长速度不同步是果腹胀裂的原因;乙烯利可减少果实水分,使下皮层细胞横向变窄小,并由纵向长条形变为横向长条形排列,保证了果皮不易纵向开裂;而GA₃则可使表皮细胞明显增大^[140]。

4.3 逆境生理

抗寒力与相对电导率呈负相关。随处理温度降低,不同品种李枝条的相对电导率差异显著,且呈“S”曲线变化^[59,141]。李抗寒性与其叶片可溶性糖含量呈极显著相关,李休眠枝皮细胞 POD 活性与生长季节叶片抗热性有显著相关性^[142]。李枝条在细胞膜受到伤害之前,树体内各种保护系统已经启动,从而提高了组织抗寒性^[143]。喷施适宜浓度的外源水杨酸、脱落酸可以减弱低温胁迫下李花的膜质过氧化作用,降低低温对细胞膜的破坏,能够在一定程度上提高李花抗寒性^[144]。

李树根系浅,抗旱能力差。在轻度干旱胁迫下,李树体水势变化较小;随着水分胁迫加强,树体组织中各项水势指标($\Psi\pi_{100}$ 、 $\Psi\pi_0$ 和 RWC_0)明显下降;严重干旱时,树体的渗透调节和维持膨压能力受到限制;经过干旱锻炼后,李树体的渗透调节和维持膨压能力无显著差异^[145]。

李抗盐能力较强,在特定范围内盐胁迫可以通过自身保护酶系统和渗透调节物质有效降低活性氧伤害。‘紫叶李’抗 NaCl 胁迫阈值为 0.3%,高浓度 NaCl 胁迫使‘紫叶李’由深紫红色向黄绿色发展,降低观赏价值^[146]。NaCl 胁迫使‘紫叶李’树体细胞膜透性增强、丙二醛含量升高,加快氧自由基的产生;而脯氨酸和可溶性糖可能是盐胁迫下紫叶李的主要渗透调节物质^[147]。

随着铅含量的不断升高,‘紫叶李’枝条的相对电导率、氧自由基产生速率、丙二醛(MDA)含量增加;叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性变化均呈先上升后下降趋势;叶片脯氨酸含量不断增加,可溶性糖和可溶性蛋白含量先升后降^[148]。‘紫叶李’对 SO_2 毒害的临界值为 $17.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$;当质量浓度超过 $17.14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,树体抗氧化酶系统受到破坏^[149]。‘紫叶李’对 SO_2 有较高耐受性的原因在于其有较高的保护酶活性、抗氧化剂、有机渗透调节物质以及内源激素物质^[150];而外源 NO 可通过调节内源激素含量从而增强植株对不良环境的抵抗能力^[151]。

5 采后贮藏与加工

5.1 贮藏技术

采收成熟度是影响李果实采后食用品质和商品性状的重要因素。采收成熟度过低,李果实在低温

贮藏中容易出现冷害;采收成熟度过高,容易过快软化,缩短货架期^[152]。中成熟度‘黑宝石’李更适宜长期贮藏^[153]。低熟(硬度 $10.7 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)、中熟(硬度 $7.6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)、高熟(硬度 $4.1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$) 3 个采收成熟度‘盖县李’果实在低温(0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 80%~90%贮藏中,低熟李果肉硬度、出汁率、可滴定酸(TA)含量和失重率均显著高于中熟和高熟果实;高熟李果实 pH、可溶性固形物含量(SSC)和 SSC/TA 比值、乙烯释放速率和转色指数显著高于低熟和中熟果实,但高熟果实果肉的褐变指数显著高于其他采收成熟度的果实^[154]。

采前 GA_3 处理显著降低李果实低温贮藏期间的冷害指数与褐变指数,可有效维持果实冷藏期间细胞膜完整性、抑制丙二醛(MDA)积累^[155]。采后经 1% $CaCl_2$ 溶液处理后,能减缓贮藏期间硬度和果胶含量的变化,延长贮藏期^[156-157]。采后用 500 和 $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ L-半胱氨酸浸泡处理可抑制‘青脆李’果实变黄和软化进程,延缓果实贮藏过程中可溶性固形物、可滴定酸和抗坏血酸的含量下降,抑制果实贮藏过程中失重率、相对电导率和 MDA 含量上升^[158]。贮藏前用 1-MCP 处理显著抑制‘青脆李’‘沙子空心李’和‘脱骨李’^[159-161]的呼吸作用和乙烯释放速率,并降低两者的峰值;可保持果实细胞膜的完整性,降低 PPO 活性和酚类物质的消耗,减少褐变,其中以 $1.0\sim 1.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度处理效果最好。

‘冰脆李’冷藏过程中果实硬度、有机酸含量、维生素 C 含量均逐渐下降, 1°C 下贮藏效果优于 5°C ^[162];与 3°C 和 5°C 相比,‘黄冠李’在 0°C 贮藏可显著抑制果实腐烂率上升、维持较高的果实硬度、抑制果实失重及可滴定酸、可溶性固形物含量的下降;且 0°C 贮藏下果实的 DPPH 与 ABTS 自由基清除能力、总抗氧化能力均显著高于 3°C 与 5°C 贮藏,可维持较高的抗氧化水平^[163]。‘青脆李’在 -1°C 、 0°C 和 8°C 下保鲜期依次为 $>70 \text{ d}$ 、 70 d 和 30 d ;其中 -1°C 贮藏条件下硬度下降最缓慢且腐烂率(9.7%)最低^[164]。可见,李的适宜贮藏温度是 $-1^{\circ}\text{C} \sim 1^{\circ}\text{C}$ 。

‘黑宝石’李的适宜气调贮藏条件为: O_2 体积分数 2%, CO_2 体积分数 5%,在此气体指标及 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ 条件下,可贮藏 3 个月以上,出库时好果率在 85%以上,腐烂率低于 10%,果肉色泽、风味正常^[165]。

5.2 加工技术

李的加工有干制(红干、乌干、去皮李干)、糖制(糖水罐头、李蜜饯、李脯、李酱、话李)、果汁和果酒等^[2]。欧洲李主要用于加工李干,用于鲜食有增加的趋势。在欧洲,李酒非常受欢迎,也很普遍。

用真空渗糖技术研究话李加工工艺,最佳工艺应为糖液浓度60%、破真空10 min、渗糖温度为40℃^[166]。由糖精钠、三氯蔗糖、甜菊糖苷、异麦芽酮糖组成的复配甜味剂用于制作话李凉果,增加甜味且甜味清爽柔和,获得较好的感官评价^[167]。李也可以加工成各种风味的话李,如姜汁李、桂花李、川贝陈皮李、柠檬李等^[168]。

利用未成熟李子通过酶解作用制汁试验表明,获得李汁的最佳条件是pH 3.0~3.5,果胶酶质量浓度为200 mg·L⁻¹,时间为90 min,最大液汁得率为60%^[169]。李果粒果汁饮料最适去皮方法为浸碱法,果胶酶质量浓度为200 mg·L⁻¹,复合护色剂最优配比为维生素C质量浓度0.15 g·100 mL⁻¹、柠檬酸质量浓度0.20 g·100 mL⁻¹、亚硫酸氢钠质量浓度0.30 g·100 mL⁻¹;李子果粒果汁饮料的最优配方为原汁质量浓度15.0 g·100 mL⁻¹、白砂糖质量浓度9.0 g·100 mL⁻¹、柠檬酸质量浓度0.10 g·100 mL⁻¹、果粒质量浓度10.0 g·100 mL⁻¹、XC悬浮剂质量浓度0.30 g·100 mL⁻¹,制得的饮料酸甜适宜、清爽可口^[170]。

以李果实为原料试验确定果醋的最佳工艺参数,酒精发酵的最佳工艺条件为发酵温度20℃,果汁的初始糖度16%,酵母菌接种量10%,发酵7 d左右;醋酸发酵最佳工艺条件为发酵温度30℃,醋酸菌接种量12%,初始酒精度8%,发酵8 d,酿制出的李子果醋香味独特,品位纯正^[171]。李果酒的最佳发酵条件为:发酵时间11 d,发酵温度21℃,初始pH值4.0,酵母菌种添加量7%。在该条件下酒精度为12.40%^[172]。

6 研究展望

新中国成立以来,我国的李科学研究,特别是李种质资源的调查、收集、保存、鉴定、评价,以及遗传与育种研究方面取得了长足的进步,但与其他农业发达国家相比,在种质资源精细评价、复杂性状遗传解析、重要功能基因发掘、高效育种技术、标准化栽培技术、商品化采后处理技术及综合加工技术等方面仍有一些差距。中国李起源于我国,尽管收集保

存了大量的李种质资源,但对野生居群材料、不同生态地理种群品种、抗重要病害的特异资源(如抗李痘病毒、细菌性穿孔病、褐腐病等)、具有优异性状的资源和野生近缘种的收集还需进一步加强。尽管在李品质改良方面取得了一定的进展,但在重要经济性状的遗传规律、抗性育种、砧木育种方面也亟待加强。

参考文献 References:

- [1] 联合国粮农组织数据库[OL]. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations Database(FAOSTAT)[OL]. 2019.
- [2] 张加延, 周恩. 中国果树志·李卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998. ZHANG Jiayan, ZHOU En. China fruit-plant monographs, plum flora[M]. Beijing: China Forestry Press, 1998.
- [3] LIU W S, LIU N, YU X H, SUN M, ZHANG Y P, XU M, ZHANG Q P, LIU S. Plum germplasm resources and breeding in Liaoning of China[C]. Acta Horticulturae, 2013, 985: 43-46.
- [4] TOPP B L, RUSSELL D M, NEUMULLER M, DALBO M, LIU W S. Plum[M]// BADENES M L, BYRNE D H. Fruit Breeding. Media: Springer Science Business, 2012: 571-621.
- [5] HEDRICK U P. The plum of New York[M]. J. B. Lyon Company: State Printers, 1911: 3.
- [6] FAUST M, SURANYI D. Origin and dissemination of plums[J]. Horticultural Reviews, 1999, 23: 179-231.
- [7] 张加延, 何跃, 李体智, 彭晓东, 郭忠仁, 李峰. 我国热带-亚热带地区李的种质资源及地理分布[J]. 山西果树, 1988(3): 11-14. ZHANG Jiayan, HE Yue, LI Tizhi, PENG Xiaodong, GUO Zhongren, LI Feng. Germplasm resources and geographical distribution of plum in tropical and subtropical regions of China[J]. Shanxi Fruits, 1988(3): 11-14.
- [8] 郭忠仁, 张加延, 何跃, 彭晓东, 李峰. 南方七省的李种质资源[J]. 江苏农业科学, 1992(3): 57. GUO Zhongren, ZHANG Jiayan, HE Yue, PENG Xiaodong, LI Feng. Plum germplasm resources from seven provinces in southern China[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 1992(3): 57.
- [9] 罗福贤, 张太平. 黔南山区李种质资源考察初报[J]. 贵州农业科学, 1995(3): 45-46. LUO Fuxian, ZHANG Taiping. Preliminary investigation report on the germplasm resources of plum (*Prunus salicina* L.) in QianNan Mountainous area[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 1995(3): 45-46.
- [10] 郭翠红, 何业华, 冯筠庭, 陈程杰, 林文秋, 栾爱萍, 张雅芬. 广东省李产业发展现状调查[J]. 经济林研究, 2015, 33(1): 141-146. GUO Cuihong, HE Yehua, FENG Juntao, CHEN Chengjie, LIN Wenqiu, LUAN Aiping, ZHANG Yafen. Investigation of plum industry development in Guangdong province[J]. Economic For-

- est Research, 2015, 33(1): 141-146.
- [11] 张静茹, 陆致成, 关述杰. 东北高寒地区的李资源[J]. 中国果树, 1997(4): 44-45.
ZHANG Jingru, LU Zhicheng, GUAN Shujie. Plums resources in the alpine and cold areas of northeast China[J]. China Fruits, 1997(4): 44-45.
- [12] 林培钧, 廖明康, 施丽, 王银福, 霍宗生. 新疆伊犁野生欧洲李 *Prunus domestica* L. (*P. communis* Fritsch) 的发现与分布(第一报)[J]. 辽宁果树, 1986(1): 1-3.
LIN Peijun, LIAO Mingkang, SHI Li, WANG Yinfu, HUO Zongsheng. Finding and distribution of wild *Prunus domestica* L. (*P. communis* Fritsch) in Xinjiang Yili (the first report)[J]. Liaoning Fruits, 1986(1): 1-3.
- [13] 孙琪, 廖康, 耿文娟, 周宏伟, 樊丁宇, 刘欢, 曹倩. 基于花粉微观特征的新疆欧洲李亲缘关系分析[J]. 果树学报, 2015, 32(3): 393-403.
SUN Qi, LIAO Kang, GENG Wenjuan, ZHOU Hongwei, FAN Dingyu, LIU Huan, CAO Qian. Phlogenetic relationship analysis of European plum in Xinjiang based on pollen microscopic characteristics[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(3): 393-403.
- [14] 崔乃然, 王磊, 林培钧, 许正. 新疆野生樱桃李的新类型[J]. 八一农学院学报, 1990, 13(3): 78-88.
CUI Nairan, WANG Lei, LIN Peijun, XU Zheng. New type of Xijiang wild *Myrobalan plum*[J]. Journal of August 1st Agricultural College, 1990, 13(3): 78-88.
- [15] 周龙, 胡建芳, 许正, 廖康, 王磊. 野生樱桃李天然群体果实形态多样性分析[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(6): 637-642.
ZHOU Long, HU Jianfang, XU Zheng, LIAO Kang, WANG Lei. Analysis on fruit phenotypic diversity of natural populations in *Prunus divaricata*[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2011, 33(6): 637-642.
- [16] 张静茹, 孙海龙, 陆致成, 李海飞, 李静, 王昆. 野生樱桃李 (*Prunus cerasifera*) 果实多酚多样性分析[J]. 果树学报, 2017, 34(5): 567-575.
ZHANG Jingru, SUN Hailong, LU Zhicheng, LI Haifei, LI Jing, WANG Kun. Diversity analysis of phenolic in wild myrobalan plums (*Prunus cerasifera*) [J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(5): 567-575.
- [17] 周龙, 廖康, 许正, 王磊. 新疆野生樱桃李种质资源研究进展[J]. 经济林研究, 2010, 28(2): 142-145.
ZHOU Long, LIAO Kang, XU Zheng, WANG Lei. Advance in research on germplasm resources in *Prunus cerasifera* Ehrh. [J]. Economic Forest Research, 2010, 28(2): 142-145.
- [18] 林盛华, 蒲富慎, 张加延, 高秀云, 李秀杰. 李属植物染色体数目观察[J]. 中国果树, 1991(2): 8-10.
LIN Shenghua, PU Fushen, ZHANG Jiayan, GAO Xiuyun, LI Xiujie. Observation on the number of chromosomes in plum[J]. China Fruits, 1991(2): 8-10.
- [19] 杨军, 徐凯, 严春国, 沈朝栋. 李属果树过氧化物同工酶酶谱的研究[J]. 安徽农业大学学报, 1998(4): 82-85.
YANG Jun, XU Kai, YAN Chunguo, SHEN Chaodong. Study on the enzyme spectrum of peroxidase isozyme in plum trees[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 1998(4): 82-85.
- [20] 刘艳玲, 徐立铭, 程中平. 基于 ITS 序列探讨核果类果树桃、李、杏、梅、樱的系统发育关系[J]. 园艺学报, 2007, 34(1): 23-28.
LIU Yanling, XU Liming, CHENG Zhongping. Phylogenetic analysis of stone fruits such as peach, plum, apricot, mume and cherry based on ITS sequences[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(1): 23-28.
- [21] BRETSCHNEIDER E. History of European botanical discoveries in China (Vol 2). [M]. London: Sampson Low, 1898: 827-833.
- [22] 阮颖, 周朴华, 刘春林. 九种李属植物的 RAPD 亲缘关系分析[J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 218-223.
RUAN Ying, ZHOU Puhua H, LIU Chunlin. Phylogenetic relationship among nine *Prunus* species based on random amplified polymorphic DNA[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(3): 218-223.
- [23] LIU W S, LIU D C, FENG C J, ZHANG A M, LI S H. Genetic diversity and phylogenetic relationships in plum germplasm resources revealed by RAPD markers[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2006, 81(2): 242-250.
- [24] LIU W S, LIU D C, ZHANG A M, FENG C J, YANG J M, YOON J, LI S H. Genetic diversity and phylogenetic relationships among plum germplasm resources in China assessed with inter-simple sequence repeat markers[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2007, 132(5): 619-628.
- [25] LIU W S, LI S H, ZHANG A M, LIU D C. Genetic diversity revealed by RAPD markers in plum collection of China[C]. Acta Horticulturae, 2007, 734: 287-294.
- [26] ZHANG Q P, WEI X, LIU W S, LIU N, ZHANG Y P, XU M, LIU S, ZHANG Y J, MA X X, DONG W X. The genetic relationship and structure of some natural interspecific hybrids in *Prunus* subgenus *Prunophora*, based on nuclear and chloroplast simple sequence repeats[J]. Genetic Resource Crop Evolution, 2018, 65: 625-636.
- [27] 魏潇, 章秋平, 刘宁, 张玉萍, 徐铭, 刘硕, 张玉君, 马小雪, 刘威生. 不同来源中国李 (*Prunus salicina* L.) 的多样性与近缘种关系[J]. 中国农业科学, 2019, 52(3): 568-578.
WEI Xiao, ZHANG Qiuping, LIU Ning, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Shuo, ZHANG Yujun, MA Xiaoxue, LIU Weisheng. Genetic diversity of the *Prunus salicina* L. from different sources and their related species[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(3): 568-578.
- [28] 孙琪, 廖康, 耿文娟, 曼苏尔·那斯尔, 刘欢, 徐桂香. 新疆欧洲李种质资源染色体核型分析[J]. 西北植物学报, 2015, 35(6): 1153-1159.
SUN Qi, LIAO Kang, GENG Wenjuan, MANSUR Nasir, LIU Huan, XU Guixiang. Karyotype analysis of *Prunus domestica* L. germplasm resources in Xinjiang[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2015, 35(6): 1153-1159.
- [29] 刘有春, 刘威生, 郁香荷, 孙猛, 刘宁, 章秋平, 张玉萍, 徐铭, 刘硕. 欧洲李 (*Prunus domestica* L.) 及其近缘种的孢粉学研究[J]. 果树学报, 2010, 27(4): 526-532.

- LIU Youchun, LIU Weisheng, YU Xianghe, SUN Meng, LIU Ning, ZHANG Qiuping, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Shuo. Palynological study on *Prunus domestica*, and its related species [J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(4): 526-532.
- [30] 耿文娟. 野生欧洲李种质资源特性及亲缘关系研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2011.
- GENG Wenjuan. Research on germplasm resources characteristic and genetic relationship for wild european plum (*Prunus domestica* L.) [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2011.
- [31] 刘威生. 李种质资源遗传多样性及主要种间亲缘关系的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- LIU Weisheng. Studies on the genetic diversity among plum germplasm resources and the phylogenetic relationships of main plum species [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [32] 陈红, 杨迺然. 贵州李资源遗传多样性及亲缘关系的 ISSR 分析 [J]. *果树学报*, 2014, 31(2): 175-180.
- CHEN Hong, YANG Yiran. Genetic diversity and relationship of plum resources in Guizhou analyzed by ISSR markers [J]. *Journal of Fruit Science*, 2014, 31(2): 175-180.
- [33] 郁香荷, 章秋平, 刘威生, 孙猛, 刘宁, 张玉萍, 徐铭. 中国李种质资源形态和农艺性状的遗传多样性分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(3): 402-407.
- YU Xianghe, ZHANG Qiuping, LIU Weisheng, SUN Meng, LIU Ning, ZHANG Yuping, XU Ming. Genetic diversity analysis of morphological and agronomic characters of Chinese plum (*Prunus salicina* Lindl.) germplasm [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(3): 402-407.
- [34] 郭忠仁. 我国南方中国李种质资源收集和利用研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- GUO Zhongren. Collection and utilization of *Prunus salicina* germplasm resource in South China [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006.
- [35] 乔玉山. 中国李 RAPD、ISSR 和 SSR 反应体系的建立及其品种资源遗传多样性分析 [D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- QIAO Yushan. Establishment of RAPD, ISSR and SSR reactions system and analysis of genetic diversity of Japanese plum cultivars [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003.
- [36] 左力辉, 韩志校, 梁海永, 杨敏生. 不同产地中国李资源遗传多样性 SSR 分析 [J]. *园艺学报*, 2015, 42(1): 111-118.
- ZUO Lihui, HAN Zhixiao, LIANG Haiyong, YANG Minsheng. Analysis of genetic diversity of *Prunus salicina* from different producing areas by SSR markers [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(1): 111-118.
- [37] 孙萍, 林贤锐, 沈建生. 基于 SSR 标记的李种质资源遗传多样性研究 [J]. *江西农业学报*, 2017, 29(2): 33-39.
- SUN Ping, LIN Xianrui, SHEN Jiansheng. Study on genetic diversity of plum germplasm resources based on SSR markers [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017, 29(2): 33-39.
- [38] 吕英民. 两个核果类果树的分类地位 [J]. *张家口农专学报*, 1996, 12(3): 8-10.
- LÜ Yingmin. The classification position of two stone fruits [J]. *Journal of Zhangjiakou Agricultural College*, 1996, 12(3): 8-10.
- [39] 杨红花, 陈学森, 冯宝春, 吴燕. 李梅杏类种质资源的 RAPD 分析 [J]. *果树学报*, 2007, 24(3): 49-53.
- YANG Honghua, CHEN Xuesen, FENG Baochun, WU Yan. Assessment of *Prunus armeniaca* limeixing germplasm by RAPD [J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(3): 49-53.
- [40] 章秋平, 魏潇, 刘威生, 董文轩, 刘宁, 张玉萍, 徐铭, 刘硕, 张玉君, 马小雪. 基于叶绿体 DNA 序列 trnL-F 分析李亚属植物的系统发育关系 [J]. *果树学报*, 2017, 34(10): 1249-1257.
- ZHANG Qiuping, WEI Xiao, LIU Weisheng, DONG Wenxuan, LIU Ning, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Shou, ZHANG Yujun, MA Xiaoxue. Phylogenetic relationship in the subgenus *Prunophora* (Rosaceae) inferred from the chloroplast DNA region, trnL-F [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(10): 1249-1257.
- [41] 杜红岩, 李芳东, 傅大立, 杨绍彬, 杜兰英, 傅建敏, 李福海. 中晚熟杏李种间杂交新品种‘味王’ [J]. *园艺学报*, 2005, 32(1): 168-174.
- DU Hongyan, LI Fangdong, FU Dali, YANG Saobin, DU Lanying, FU Jianmin, LI Fuhai. ‘Weiwang’. A new cultivar of hybrid between the species of plum and apricot [J]. *Acta Horticulturae*, 2005, 32(1): 168-175.
- [42] 蒲富慎. 果树种质资源描述符 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.
- PU Fushen. Fruit tree germplasm resource descriptor [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1990.
- [43] 郁香荷, 刘威生, 刘宁, 赵锋, 孙猛, 张玉萍, 钱永忠. 农作物种质资源鉴定技术规程 李: NY/T 1308-2007 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- YU Xianghe, LIU Weisheng, LIU Ning, ZHAO Feng, SUN Meng, ZHANG Yuping, QIAN Yongzhong. Technical code for evaluating germplasm resources plum (*Prunus*): NY/T 1308-2007 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [44] 郁香荷, 刘威生. 李种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- YU Xianghe, LIU Weisheng. Descriptors and data standard for plum (*Prunus* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [45] 郁香荷, 孙猛, 刘威生, 江用文, 刘宁, 张玉萍, 熊兴平, 徐铭, 章秋平, 王宏, 张同喜, 赵锋. 农作物优异种质资源评价规范 李: NY/T 2027-2011 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- YU Xianghe, SUN Meng, LIU Weisheng, JIANG Yongwen, LIU Ning, ZHANG Yuping, XIONG Xingping, XU Ming, ZHANG Qiuping, WANG Hong, ZHANG Tongxi, ZHAO Feng. Evaluation standards of elite and rare germplasm resources-plum (*Prunus* Sobgenus, *Prunus* Mill.): NY/T 2027-2011 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [46] 刘硕, 刘威生, 熊兴平, 刘宁, 江用文, 章秋平, 刘有春, 徐铭, 张玉萍. 李种质资源描述规范: NY/T 2924-2007 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- LIU Shuo, LIU Weisheng, XIONG Xingping, LIU Ning, JIANG Yongwen, ZHANG Qiuping, LIU Youchun, XU Ming, ZHANG Yuping. Descriptors for plum germplasm resources: NY/T 2924-2007 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.

- [47] 孙升. 李属资源若干数量性状评价标准探讨[J]. 园艺学报, 1999(1): 9-14.
SUN Sheng. Evaluation criteria for several quantitative traits of plum resources[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1999(1): 9-14.
- [48] 章秋平, 刘威生, 郁香荷, 刘宁, 张玉萍, 孙猛, 徐铭. 基于优化 LDSS 法的中国李(*Prunus salicina*)初级核心种质构建[J]. 果树学报, 2011, 28(4): 617-623.
ZHANG Qiuping, LIU Weisheng, YU Xianghe, LIU Ning, ZHANG Yuping, SUN Meng, XU Ming. Establishment and evaluation of primary core collection of Chinese plum(*Prunus salicina* L.) germplasm[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(4): 617-623.
- [49] 刘硕, 刘有春, 刘宁, 张玉萍, 章秋平, 徐铭, 张玉君, 刘威生. 李属(*Prunus*)果树品种资源果实糖和酸的组分及其构成差异[J]. 中国农业科学, 2016, 49(16): 3188-3198.
LIU Shuo, LIU Youchun, LIU Ning, ZHANG Yuping, ZHANG Qiuping, XU Ming, ZHANG Yujun, LIU Weisheng. Sugar and organic acid components in fruits of plum cultivar resources of genus *Prunus*[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(16): 3188-3198.
- [50] CHAI Q Q, WU B H, LIU W S, WANG L J, YANG C X, WANG Y J, FANG J B, LIU Y C, LI S H. Volatiles of plums evaluated by HS-SPME with GC-MS at the germplasm level[J]. Food Chemistry, 2012, 130(2):432-440.
- [51] 马小雪, 章秋平, 刘威生, 刘宁, 张玉萍, 徐铭, 刘硕, 张玉君. 李属果树果实营养成分及抗氧化活性检测研究进展[J]. 果树学报, 2018, 35(12): 1551-1558.
MA Xiaoxue, ZHANG Qiuping, LIU Weisheng, LIU Ning, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Shuo, ZHANG Yujun. Research progress in nutritional components and determination of antioxidant activity in fruits of *Prunus*[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(12): 1551-1558.
- [52] 马小雪, 章秋平, 刘威生, 刘宁, 张玉萍, 徐铭, 刘硕, 张玉君. 李品种资源果实抗氧化活性分析[J]. 果树学报, 2019, 36(03): 277-285.
MA Xiaoxue, ZHANG Qiuping, LIU Weisheng, LIU Ning, ZHANG Yuping, XU Ming, LIU Shuo, ZHANG Yujun. Antioxidant capacity in fruits of cultivar resources of genus *Prunus*[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(3): 277-285.
- [53] 陆致成, 孙海龙, 张静茹, 于澍. 不同种质李果实酚类物质组分及其含量分析[J]. 中国南方果树, 2016, 45(6):105-109.
LU Zhicheng, SUN Hailong, ZHANG Jingru, YU Lu. Analysis of components and contents of phenolic substances in different plum germplasm resources[J]. South China Fruits, 2016, 45(6): 105-109.
- [54] 郁香荷, 孙猛, 刘威生. 李种质资源自花和自然坐果率及分级标准[J]. 中国果树, 2008(3): 17-19.
YU Xianghe, SUN Meng, LIU Weisheng. Self-flowering and natural fruiting rates and grading standards of plum germplasm resources[J]. China Fruits, 2008(3): 17-19.
- [55] 郁香荷, 孙猛, 刘威生. 174 份李种质资源不同套袋隔离方式自花着果率调查[J]. 中国南方果树, 2008, 37(5): 58-59.
YU Xianghe, SUN Meng, LIU Weisheng. Investigation on self-fruiting rate of 174 plum germplasm resources with different bagging isolation methods[J]. South China Fruits, 2008, 37(5): 58-59.
- [56] 孙升. 李属资源对细菌性穿孔病抗性的初步研究[J]. 中国果树, 1999(2): 32-33.
SUN Sheng. Preliminary study on resistance of plum resources to bacterial perforation[J]. China Fruits, 1999(2): 32-33.
- [57] 刘威生, 张加延, 景学富. 我国李属品种资源对细菌性穿孔病的抗性鉴定[J]. 中国果树, 1996(1): 9-11.
LIU Weisheng, ZHANG Jiayan, JING Xuefu. Identification of resistance to bacterial perforation in Chinese plum cultivars[J]. China Fruits, 1996(1): 9-11.
- [58] 刘威生, 张加延, 唐士勇, 高秀云. 李属种质资源的抗寒性鉴定[J]. 北方果树, 1999(2): 6-8.
LIU Weisheng, ZHANG Jiayan, TANG Shiyong, GAO Xiuyun. Cold resistance identification of plum germplasm resources[J]. Northern Fruits, 1999(2): 6-8.
- [59] 林存学, 杨晓华, 刘海荣, 刘滨, 李锋, 于泽源. 我国东北寒冷地区李种质资源抗寒力测定[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(4):22-29.
LIN Cunxue, YANG Xiaohua, LIU Hairong, LIU Bin, LI Feng, YU Zeyuan. Measurement of cold tolerance in plum varieties of cold region in northeast China conductivity method[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2017, 48(4): 22-29.
- [60] 陆致成, 张静茹, 杜汉军, 孙伟. 黑龙江李种质资源抗寒性评价[J]. 中国果树, 2012(6): 32-35.
LU Zhicheng, ZHANG Jingru, DU Hanjun, SUN Wei. Cold resistance evaluation of plum germplasm resources in heilongjiang province[J]. China Fruits, 2012(6): 32-35.
- [61] 方玉凤, 张风芳, 王官清, 李铎, 李松群, 李怀玉. 六号李、绥棱红李自然杂交后代某些性状的遗传[J]. 沈阳农业大学学报, 1989, 20(1): 15-19.
FANG Yufeng, ZHANG Fengfang, WANG Guanqing, LI Duo, LI Songqun, LI Huaiyu. Inheritance of some characters in naturally hybridized progeny from Plum 6 × Suiling Red[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1989, 20(1):15-19.
- [62] 刘文东. 李树杂交后代亲性子性状遗传变异规律[J]. 中国林副特产, 2013(5): 96-97.
LIU Wendong. Genetic variation of plum tree hybrid offspring[J]. Forest By-product and Speciality in China, 2013(5): 96-97.
- [63] 李怀玉, 方玉凤. 李实生后代变异与亲本选择[J]. 北方园艺, 1990(4):9-13.
LI Huaiyu, FANG Yufeng. Variation of plum open pollination seedling and selection of parents[J]. Northern Horticulture, 1990(4): 9-13.
- [64] 焦春雨, 于泽源, 曾焯, 陶可全. 中国李果实成熟期性状遗传倾向研究[J]. 东北农业大学学报, 2000(2):160-165.
JIAO Chunyu, YU Zeyuan, ZENG Ye, TAO Kequan. Study on genetic predisposition of fruit maturity traits in Chinese plum[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2000(2): 160-165.
- [65] 孙伟, 高庆玉. 中国李自然杂交后代抗寒力、果实大小的遗传

- 与变异[J]. 东北农业大学学报, 2003(3): 250-253.
- SUN Wei, GAO Qingyu. Inheritance and variation of cold resistance and fruit size of Chinese plum nature hybrid offspring[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2003(3): 250-253.
- [66] 焦春雨,陶可全,于泽源,沈铁恒. 中国李果实品质遗传倾向研究[J]. 北方园艺, 1999(2):25-27.
- JIAO Chunyu, TAO Kequan, YU Zeyuan, SHEN Tiejing. Genetic predisposition of fruit quality in Chinese plum[J]. Northern Horticulture, 1999(2):25-27.
- [67] 刘硕,徐铭,张玉萍,张玉君,马小雪,章秋平,刘宁,刘威生. 我国李育种研究进展、存在问题和展望[J]. 果树学报, 2018, 35(2):231-245.
- LIU Shuo, XU Ming, ZHANG Yuping, ZHANG Yujun, MA Xiaoxue, ZHANG Qiuping, LIU Ning, LIU Weisheng. Retrospect, problematical issues and the prospect of plum breeding in China [J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(2): 231-245.
- [68] 宋洪伟,迟占文,张艳波,陶睿,张冰冰. 寒地李属资源与品种选育[J]. 北方园艺, 2008(6): 105-106.
- SONG Hongwei, CHI Zhanwen, ZHANG Yanbo, TAO Rui, ZHANG Bingbing. Variety choice and breeding of plum in cold region[J]. Northern Horticulture, 2008(6): 105-106.
- [69] 关连捷,李久成,吕映霞. 寒地李树新品种绥李三号和绥棱红[J]. 北方果树, 1987(Z1): 60-61.
- GUAN Lianjie, LI Jiucheng, LÜ Yingxia. New plum variety Sui-li #3 and Suilinghong in cold region[J]. Northern Fruits, 1987 (Z1): 60-61.
- [70] 吴起运. 李新品种长李7号[J]. 山西果树, 1991(1): 41.
- WU Qiyun. New plum variety Changli #7[J]. Shanxi Fruits, 1991 (1): 41.
- [71] 韩其庆,白文菊,廖庆安,凌一章. 李抗寒新品种奎丰、奎丽[J]. 农业科技通讯, 1985(6): 32.
- HAN Qiqing, BAI Wenju, LIAO Qing'an, LING Yizhang. New cold resistant variety of plum: Kuifeng, Kuili[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 1985(6): 32.
- [72] 白文菊,韩其庆,廖庆安,凌一章. 李早熟优良新品种奎冠[J]. 中国果树, 1986(3): 32-33.
- BAI Wenju, HAN Qiqing, LIAO Qing'an, LING Yizhang. New early variety of plum: Kui guan[J]. China Fruits, 1986(3): 32-33.
- [73] 李锋. 李抗寒优良新品种(系)[J]. 中国果树, 1993(1):1-2.
- LI Feng. New cold resistant variety of plum[J]. China Fruits, 1993(1):1-2.
- [74] 曾焯,牟蕴慧,金殿义,刘国华,刘允中. 李新品种‘龙园秋李’[J]. 中国果树, 1998(2): 26.
- ZENG Ye, MU Yunhui, JIN Dianyì, LIU Guohua, LIU Yunzhong. New variety of plum ‘Long Yuan Qiu Li’ [J]. China Fruits, 1998(2): 26.
- [75] 何跃,李清泽,张加延,唐士勇,聂洪超,迟吉发,孟林,戴洪娟,张铁华. 李晚熟新品种秋香李的选育[J]. 中国果树, 2009(2):3-4.
- HE Yue, LI Qingze, ZHANG Jiayan, TANG Shiyong, NEI Hongchao, CHI Jifa, MENG Lin, DAI Hongjuan, ZHANG Tiejia. A new late-ripening plum cultivar ‘Qiuxiangli’ [J]. China Fruits, 2009(2): 3-4.
- [76] 刘海荣,齐凤莲,刘延杰,张素英,周文志. 李抗寒耐贮新品种牡丰李[J]. 中国果树, 2004(2): 6-8.
- LIU Hairong, QI Fenglian, LIU Yanjie, ZHANG Suying, ZHOU Wenzhi. New cold resistant and longlife variety of plum ‘Mu Feng’ [J]. China Fruits, 2004(2): 6-8.
- [77] 冯健君,封兵林,章健平,吴黎明,应云连,林国友. 李新品种红晶李的选育[J]. 果树学报, 2005, 22(4): 436-437.
- FENG Jianjun, FENG Binglin, ZHANG Jianping, WU Liming, YING Yunlian, LIN Guoyou. Hongjingli, a new plum cultivar [J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(4): 436-437.
- [78] 廖明安,刘学琦,王志德,邱利娜,刘雨,梅洛银,吕秀兰,任雅君,罗丽. 李新品种‘巴山脆李’[J]. 园艺学报, 2012, 39(11): 2305-2306.
- LIAO Ming'an, LIU Xueqi, WANG Zhide, QIU Lina, LIU Yu, MEI Luoyin, LÜ Xiulan, REN Yajun, LUO Li. A new plum cultivar ‘Bashan Cuili’ [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39 (11): 2305-2306.
- [79] 徐铭,刘威生,孙猛,刘宁,张玉萍,章秋平,刘硕,高涵. 优质李新品种‘国美’的选育[J]. 果树学报, 2015, 32(3): 514-516.
- XU Ming, LIU Weisheng, SUN Meng, LIU Ning, ZHANG Yuping, LIU Shuo, GAO Han. ‘Guomei’, a new high quality plum cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(3): 514-516.
- [80] 刘威生. 最新李、杏新品种(系)简介[J]. 果农之友, 2017(5):4-6.
- LIU Weisheng. Brief introduction of new plum & apricot varieties[J]. Fruit Growers' Friend, 2017(5):4-6.
- [81] 钟晓红,罗先实,陈爱华. 李花芽分化与体内主要代谢产物含量的关系[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 1999(1): 33-37.
- ZHONG Xiaohong, LUO Xianshi, CHEN Aihua. A study on Nai plum's flower bud differentiation and its major content of metabolic production[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 1999(1): 33-37.
- [82] 蔡兴元,虞锦星,褚孟娜,仇少璞. 李花芽分化物候期的观察[J]. 中国果树, 1984(2): 15-16.
- CAI Xingyuan, YU Jinxing, CHU Mengyuan, QIU Shaoying. Observation on phenological stage of bud differentiation of plum [J]. China Fruits, 1984(2): 15-16.
- [83] 何凤杰. 李不良结实性的原因及其对策研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- HE Fengjie. Study on the season and countermeasure to the poor fruit set of Zuili (*Prunus salicina* Lindl.) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [84] 张林平,杨建民,白志英,黄文玉. 大石早生李花芽分化研究[J]. 河北林果研究, 1998(2):78-81.
- ZHANG Linping, YANG Jianmin, BAI Zhiying, HUANG Wenyu. Studies on bud differentiation of Dashizaosheng plum[J]. Forestry and Ecological Sciences, 1998(2): 78-81.
- [85] 彭伟秀,杨建民,于伟,刘海霞,苏巧. 安哥诺和黑宝石李花芽形态分化的初步研究[J]. 河北农业大学学报, 2004(3):52-55.
- PENG Weixiu, YANG Jianmin, YU Wei, LIU Haixia, SU Qiao. Research on the differentiation of flower bud and the development of pistil and stamen of *Prunus humilis* [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2004(3): 52-55.

- [86] 李燕华,康彦波,李同华,于萍. 李树花芽形态分化时期的观察[J]. 东北农学院学报,1983(3):76-80.
LI Yanhua, KANG Yanbo, LI Tonghua, YU Ping. Observation on morphological differentiation of flower buds of plum trees[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1983(3):76-80.
- [87] 涂翠琴,裘敏和,过文珍,任寿金. 李树花芽分化观察[J]. 果树科学,1995(S1):116-118.
TU Cuiqin, QIU Minhe, GUO Wenzhen, REN Shoujin. Observation on flower bud differentiation of plum[J]. Journal of Fruit Science, 1995(S1): 116-118.
- [88] 钟晓红. 李树授粉试验及其花粉生活力测定[J]. 湖南农学院学报,1994(2):138-142.
ZHONG Xiaohong. Plum pollination test and determination of pollen viability[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 1994(2): 138-142.
- [89] 孙建云,王庆亚,黄清渊. 李花芽形态分化的研究[J]. 江西农业大学学报,2005(3):413-416.
SUN Jianyun, WANG Qingya, HUANG Qingyuan. A study on morphological differentiation of flower bud of *Prunus salicina* Lindl.[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2005 (3): 413-416.
- [90] 李会芳,廖康,许正,皮里东. 野生櫻桃李花芽形态分化的研究[J]. 新疆农业科学,2006(5):349-351.
LI Huifang, LIAO Kang, XU Zheng, PI Lidong. Study on the flower bud differentiation of wild cherry plum[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2006(5):349-351.
- [91] 耿文娟,杨磊,谢军,廖康,许正,李会芳,刁永强. 野生欧洲李花芽形态分化研究[J]. 新疆农业大学学报,2011,34(1):28-31.
GENG Wenjuan, YANG Lei, XIE Jun, LIAO Kang, XU Zheng, LI Huifang, DIAO Yongqiang. A study on the flower bud morphological differentiation of wild European plum[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(1):28-31.
- [92] 冯贝贝,魏雅君,李雯雯,徐业勇,王明,耿文娟,杨红丽,廖康. 阿克苏地区3个欧洲李品种花芽分化的进程[J]. 经济林研究,2017,35(3):156-160.
FENG Beibei, WEI Yajun, LI Wenwen, XU Yeyong, WANG Ming, GENG Wenjuan, YANG Hongli, LIAO Kang. Flower bud differentiation process of 3 cultivars of *Prunus domestica* in Akesu region[J]. Nonwood Forest Research, 2017, 35(3): 156-161.
- [93] 魏雅君,廖康,李雯雯,冯贝贝,徐业勇,王明,杨红丽,牛莹莹. 杏李花芽分化的组织解剖学研究[J]. 果树学报,2017,34(7):843-850.
WEI Yajun, LIAO Kang, LI Wenwen, FENG Beibei, XU Yeyong, WANG Ming, YANG Hongli, NIU Yingying. An anatomical study on flower bud differentiation in *Prunus salicina* × *Parmeniaca*[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(7): 843-850.
- [94] 周怀军,张元慧,刘从霞,赵阿曼,宋小双,赵玉辉. 李杏品种花型研究[J]. 河北林业科技,2001(6):1-4.
ZHOU Huaijun, ZHANG Yuanhui, LIU Congxia, ZHAO Aman, SONG Xiaoshuang, ZHAO Yuhui. Study of flower type of plum apricot cultivars[J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2001(6): 1-4.
- [95] 何兴波. 杂交杏李品种‘风味玫瑰’授粉特性研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.
HE Xingbo. Characteristics of Pollination in *Prunus domestica* × *armeniaca* ‘Fengweimeigui’ [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2014.
- [96] 雷莉莉,何兴波,杨绍彬,傅建敏,李芳东. 3种杏李花部特征与授粉亲和性的研究[J]. 热带作物学报,2014,35(1):132-137.
LEI Lili, HE Xingbo, YANG Shaobin, FU Jianmin, LI Fangdong. Analysis of floral characteristics of three *Prunus domestica* × *armeniaca* cultivars[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(1):132-137.
- [97] 张义,张慧,汪凤威,胡焕,程磊. “空心李”的授粉生物学特征[J]. 北方园艺,2017(24):43-47.
ZHANG Yi, ZHANG Hui, WANG Fengwei, HU Huan, CHENG Lei. Pollination biology characteristics of *Prunus salicina* Lindl. cv. ‘Kongxinli’ [J]. Northern Horticulture, 2017(24): 43-47.
- [98] 冯贝贝,魏雅君,李雯雯,牛莹莹,徐业勇,王明,杨红丽,廖康. 欧洲李品种间授粉亲和性研究[J]. 新疆农业科学,2017,54(2):254-261.
FENG Beibei, WEI Yajun, LI Wenwen, NIU Yingying, XU Yeyong, WANG Ming, YANG Hongli, LIAO Kang. Study on pollination compatibility of plum(*Prunus domestica* L.)[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(2): 254-262.
- [99] 朱立武,孙文平,陈家玉. 李品种花粉活力及授粉初步研究[J]. 安徽农业大学学报,2000(3):214-216.
ZHU Liwu, SUN Wenping, CHEN Jiayu. Study on pollen vitality and pollination of plum cultivar[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2000(3): 214-216.
- [100] 骆建霞,史燕山,张莉楠,马水英,木红梅,顾俊芹. 李花粉生活力试验[J]. 天津农学院学报,1999(3):33-37.
LUO Jianxia, SHI Yanshan, ZHANG Linan, MA Shuiying, MU Hongmei, GU Junqin. Pollen viability assays of Naili plum[J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 1999(3): 33-37.
- [101] 杨国顺,倪建军,邓建平,范永梅. 湖南主要李品种花粉生活力的研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2001(4):280-282.
YANG Guoshun, NI Jianjun, DENG Jianping, FAN Yongmei. Pollen viability of *Prunus* in Hunan[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2001(4): 280-282.
- [102] 魏雅君,徐业勇,冯贝贝,李雯雯,王明,杨红丽,牛莹莹,廖康. 杏李品种授粉亲和性研究[J]. 果树学报,2017,34(2):204-214.
WEI Yajun, XU Yeyong, FENG Beibei, LI Wenwen, WANG Ming, YANG Hongli, NIU Yingying, LIAO Kang. A study on the pollination compatibility of different cultivars of *Prunus salicina* × *armeniaca* with different pollenizers[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(2): 204-214.
- [103] 王化帮. 李不同品种花粉生活力的测定[J]. 安徽农业科学,2005(9):1639-1656.
WANG Huabang. Determination of pollen viability of different cultivars of plum[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005(9): 1639-1656.

- [104] 刘大瑛,徐发德,李培菊. 15个国外李子品种花粉生活力的观察[J]. 经济林研究,2003(1): 35-37.
LIU Daying, XU Fade, LI Peiju. Trial on the pollen activity from 15 foreign plum cultivars[J]. Economic Forest Researches, 2003(1): 35-37.
- [105] 林存学,刘滨. 14个李品种花粉质量测定[J]. 中国林副特产, 2016(6): 21-22.
LIN Cunxue, LIU Bin. Determination of pollen quality of 14 plum cultivars[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2016(6): 21-22.
- [106] 郭斌. 紫叶李花粉形态观察与生活力测定[J]. 山西林业科技, 2016,45(2):26-28.
GUO Bin. Morphology and viability determination in pollen of *Prunus cerasifera*[J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 2016,45(2):26-28.
- [107] 刘佳,李靖,陈栋,蒋彧. 青脆李花粉生活力及贮藏性研究[J]. 四川农业大学学报,2014,32(3): 288-292.
LIU Jia, LI Jing, CHEN Dong, JIANG Yu. Study on the storage of pollen viability of Qingcui plum[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2014,32(3): 288-292.
- [108] 廖康,李会芳,许正,王瑾,唐巧红,汪玲. 野生樱桃李花粉活力与授粉结实特性初报[J]. 新疆农业科学,2008(3): 393-397.
LIAO Kang, LI Huifang, XU Zheng, WANG Jin, TANG Qiaohong, WANG Ling. Primary report on pollen vitality and property of pollination and fruiting of wild cherry plum[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008(3): 393-397.
- [109] 胡国强,杨福银. 晚红李的授粉试验[J]. 山西果树,1984(2): 28-30.
HU Guoqiang, YANG Fuyin. Pollination test of Wanhong plum [J]. Shanxi Fruits, 1984(2): 28-30.
- [110] 顾俊芹,邢玉环,顿继强. 奈李授粉坐果习性的研究[J]. 河北果树,2003(5): 9-10.
GU Junqin, XING Yuhuan, DUN Jiqiang. Pollination and fruit set characteristics of Neili[J]. Hebei Fruits, 2003(5): 9-10.
- [111] 杨晓华. 牡丰李授粉品种选择试验[J]. 中国林副特产, 2009(3): 50-51.
YANG Xiaohua. Selection test of pollinated varieties of Mufeng plum[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2009(3): 50-51.
- [112] 朱亚伟,张建英,张建国,李敬川,史莉,裴更生. 李不同品种授粉与坐果率关系研究[J]. 河北林业科技,2005(1): 3-5.
ZHU Yawei, ZHANG Jianying, ZHANG Jianguo, LI Jingchuan, SHI Li, PEI Gengsheng. Studies on the relationship between pollination and fruit setting rate of different varieties of plum[J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2005(1): 3-5.
- [113] 齐凤莲. 秋甜李授粉品种的筛选试验[J]. 中国林副特产, 2011(2): 32-33.
QI Fenglian. Screening test of pollinated varieties of Qiutian plum[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2011(2):32-33.
- [114] 张传来,尤扬,贾文庆,宋荷英,王尚堃. 李品种花粉对杏李坐果率的影响[J]. 河南农业科学,2009(5): 111-112.
ZHANG Chuanlai, YOU Yang, JIA Wenqing, SONG Heying, WANG Shangkun. Experimental study of plum pollen on fruit set percentage of the *Prunus salicina* × *P. armeniaca* L.[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2009(5): 111-112.
- [115] 吴振林. 绥李3号授粉树配置调查研究[J]. 黑龙江农业科学, 2012(5): 88-90.
WU Zhenlin. Investigation on the configuration of pollination tree of Suili No.3[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2012, (5): 88-90.
- [116] 朱福荣,陈振钦,王月志,戴美松. ‘桐乡携李’及4个授粉品种的S基因型分析[J]. 浙江农业学报,2011,23(3): 543-546.
ZHU Furong, CHEN Zhenqin, WANG Yuezhi, DAI Meisong. The S-genotype analysis of Tongxiang Zui Li (*Prunus salicina* Lindl.) and 4 pollination varieties[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2011,23(3): 543-546.
- [117] 赵密珍,张长青,郭洪. 大石早生李授粉品种筛选试验[J]. 南京农专学报,1999(3): 51-53.
ZHAO Mizhen, ZHANG Changqing, GUO Hong. Screening test on pollinated variety of dashi early plum[J]. Journal of Jinling Institute of Technology, 1999(3): 51-53.
- [118] 潘芝梅,张大伟,朱伟清. 黑琥珀李授粉品种试验[J]. 中国果树,2003(6): 22-24.
PAN Zhimei, ZHANG Dawei, ZHU Weiqing. Study of black amber plum pollination variety[J]. China Fruits, 2003(6): 22-24.
- [119] 张吉祥. 黑琥珀李光合特性的研究[J]. 果树学报, 2005, 22(1): 84-86.
ZHANG Jixiang. Studies on photosynthetic characteristics of Black Amber plum cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(1): 84-86.
- [120] 于泽源,许姣卉,霍俊伟. 李光合特性的研究[J]. 东北农业大学学报,2004,35(3): 315-317.
YU Zeyuan, XU Jiahui, HUO Junwei. Studies on photosynthetic characteristics of plums[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004,35(3): 315-317.
- [121] 杨建民,张林平,张国良,黄文玉. 大石早生李幼树光合特性研究[J]. 河北农业大学学报,1998,21(2): 34-38.
YANG Jianmin, ZHANG Linping, ZHANG Guoliang, HUANG Wenyu. Study on photosynthetic characteristics of Dashizaosheng young plum trees[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 1998,21(2): 34-38.
- [122] 尹利德. 三个李品种幼树光合特性的研究[D]. 武汉:华中农业大学,2004.
YIN Lide. Photosynthetic characteristics of sapling of three plum cultivars[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004.
- [123] 杨建民,张国良,张林平,王进茂,黄文玉. 李幼树光合特性的研究[J]. 园艺学报,1997,24(4): 70-71.
YANG Jianmin, ZHANG Guoliang, ZHANG Linping, WANG Maojin, HUANG Wenyu. Study on photosynthetic characteristics of young plum trees[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1997, 24(4): 70-71.
- [124] 马振峰. 钾营养水平对奈李光合特性和果实质量影响的研究

- [D]. 合肥:安徽农业大学,2010.
- MA Zhenfeng. Study on the effect of potassium nutrition level on the photosynthetic characteristics and fruit quality of *Nai plum* (*Prunus salicina* Lindl. var. *cordata* J. Y. Zhang et al.) [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2010.
- [125] 杨军, 马振峰, 刘桂华. 钾营养对柰李叶片光合作用及叶绿素荧光的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 238-244.
- YANG Jun, MA Zhenfeng, LIU Guihua. Potassium nutrition on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Nai-plum* leaves [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(20): 238-244.
- [126] 赵树堂, 关军锋, 孟庆瑞, 杨建民, 张元慧. 李果实发育过程中糖、酸、维生素 C 含量的变化[J]. 果树学报, 2004, 21(6): 612-614.
- ZHAO Shutang, GUAN Junfeng, MENG Qingrui, YANG Jianmin, ZHANG Yuanhui. Changes in contents of sugar, acid, vitamin C during fruit development of four plum cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(6): 612-614.
- [127] 王小红. ‘蜂糖李’果实糖酸组分及其积累规律[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- WANG Xiaohong. The sugar-acid components of Fengtang plum fruit and the regularity of them accumulation [D]. Guiyang: Guizhou University, 2018.
- [128] 王小红, 陈红, 董晓庆. ‘蜂糖李’果实发育过程中有机酸含量变化及其与苹果酸代谢相关酶的关系[J]. 果树学报, 2018, 35(3): 293-300.
- WANG Xiaohong, CHEN Hong, DONG Xiaoqing. Changes in organic acids content during ‘Fengtang’ plum (*Prunus salicina*) fruit development in relation to malic acid metabolism related enzymes [J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(3): 293-300.
- [129] 周丹蓉, 廖汝玉, 叶新福. 李果实氨基酸种类和含量分析[J]. 中国南方果树, 2012, 41(2): 25-28.
- ZHOU Danrong, LIAO Ruyu, YE Xinfu. Analysis of the compositions and contents of amino acids in plums [J]. South China Fruits, 2012, 41(2): 25-28.
- [130] 周丹蓉, 方智振, 叶新福, 潘少霖, 姜翠翠. 李果实中多酚含量及其抗氧化能力研究[J]. 园艺学报, 2017, 44(3): 422-430.
- ZHOU Danrong, FANG Zhizhen, YE Xinfu, PAN Shaolin, JIANG Cuicui. Concentration and antioxidant capacity of polyphenol from plum cultivars [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2017, 44(3): 422-430.
- [131] 周丹蓉, 方智振, 廖汝玉, 叶新福, 姜翠翠, 潘少霖. 李果皮花色苷、类黄酮和类胡萝卜素含量及抗氧化性研究[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 571-576.
- ZHOU Danrong, FANG Zhizhen, LIAO Ruyu, YE Xinfu, JIANG Cuicui, PAN Shaolin. Contents of anthocyanin, flavonoids and carotenoids and antioxidant capacity of plum peels [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(6): 571-576.
- [132] 周丹蓉, 叶新福, 方智振, 潘少霖, 姜翠翠, 廖汝玉, 王小安. 李果实色泽与花色苷、类黄酮和类胡萝卜素含量的关系研究[J]. 福建农业学报, 2015, 30(1): 33-37.
- ZHOU Danrong, YE Xinfu, FANG Zhizhen, PAO Shaolin, JIANG Cuicui, LIAO Ruyu, WANG Xiaohan. Research on relationship of color with contents of anthocyanin, flavonoids and carotenoid in plum [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2015, 30(1): 33-37.
- [133] 方智振, 姜翠翠, 周丹蓉, 潘少霖, 林炎娟, 叶新福. ‘秋姬李’ PsMYB18 基因克隆与功能分析[J]. 果树学报, 2019, 36(7): 837-845.
- FANG Zhizhen, JIANG Cuicui, ZHOU Danrong, PAN Shaolin, LIN Yanjuan, YE Xinfu. Molecular cloning and function analysis of PsMYB 18 in ‘Akihime’ plum (*Prunus salicina* Lindl.) [J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(7): 837-846.
- [134] 欧毅, 王进, 谢永红, 代正林. 生长调节剂对青脆李光合效应与生长结果的影响[J]. 西南农业学报, 2006(4): 659-662.
- OU Yi, WANG Jin, XIE Yonghong, DAI Zhenglin. The effects of growth regulators on photosynthesis and tree's growth and fruiting of plum [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006(4): 659-662.
- [135] 崔艳涛, 孟庆瑞, 王文凤, 冯晨静, 杨建民. 安哥诺李果皮花青苷与内源激素、酶活性变化规律及其相关性[J]. 果树学报, 2006, 23(5): 699-702.
- CUI Yantao, MENG Qingrui, WANG Wenfeng, FENG Chenjing, YANG Jianmin. Changes and relationship of anthocyanin, endogenous hormone and enzyme activity in the skin of Angelino Plum fruit [J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(5): 699-702.
- [136] 宋俊伟, 任士福, 李学玲, 张冰, 李彦慧. 不同基肥对大石早生李土壤养分和果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(13): 169-172.
- SONG Junwei, REN Shifu, LI Xueling, ZHANG Bing, LI Yanhui. Effect of different base fertilizer on the soil nutrient and quality of *Prunus salicina* ‘Oishiwase’ [J]. Northern Horticulture, 2015(13): 169-172.
- [137] 宋俊伟, 李彦慧, 任士福, 李学玲, 张冰. 3 种长效基肥对李果实品质和产量的影响[J]. 河北林果研究, 2014, 29(4): 368-372.
- SONG Junwei, LI Yanhui, REN Shifu, LI Xueling, ZHANG Bing. Effect of 3 long-acting fertilizer on the quality and yield of *Prunus salicina* Lindl. [J]. Hebei Forest and Fruit Research, 2014, 29(4): 368-372.
- [138] 李学玲, 郑辉, 宋俊伟, 李彦慧. 三种长效基肥对安哥诺李施肥效果的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2016(9): 35-39.
- LI Xueling, ZHENG Hui, SONG Junwei, LI Yanhui. Fertilization effect of three kinds of long-acting fertilizer on Angelino plum [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2016(9): 35-39.
- [139] 吉艳芝, 关楠, 张丽娟, 李彦慧, 毕淑芹. 氮磷钾配方施肥对李产量及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2008(10): 25-28.
- JI Yanzhi, GUAN Nan, ZHANG Lijuan, LI Yanhui, BI Shuqin. Effect of N, P, K fertilizer application methods on quality and yield of plum [J]. Northern Horticulture, 2008(10): 25-28.
- [140] 吴振林. 李裂果病防治研究[J]. 园艺学报, 2012, 39(12): 2361-2368.
- WU Zhenlin. Studies on prevention of plum fruit cracking disease [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(12): 2361-2368.
- [141] 杨红丽, 李建贵, 徐业勇, 王明. 新疆阿克苏地区 6 个杏李品种

- 抗寒性研究[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(10): 1782-1786.
- YANG Hongli, LI Jiangu, XU Yeyong, WANG Ming. Study on the cold resistance of six varieties of *Prunus domestica* planted in Aksu, Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51(10): 1782-1786.
- [142] 朱立武, 李绍稳, 刘加法, 王健. 李抗逆性生理生化指标及其相关性的研究[J]. 园艺学报, 2001, 28(2): 164-166.
- ZHU Liwu, LI Shaowen, LIU Jiafa, WANG Jian. The S-genotype analysis of Tongxiang Zui Li (*Prunus salicina* Lindl.) and 4 pollination varieties[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(2): 164-166.
- [143] 刘从霞, 袁惠贞, 冯晨静, 杨建民. 低温胁迫下紫叶李休眠枝条内源激素含量与生理指标的变化[J]. 河北林业科技, 2009(S1): 9-11.
- LIU Congxia, YUAN Huizheng, FENG Chenqing, YANG Jianmin. Change of endogenous hormones and physiological indicators of purple-leaf plum under cold stress[J]. Hebei Forest Science and Technology, 2009(S1): 9-11.
- [144] 李学玲, 庞海颖, 牛东伟, 任士福, 李彦慧. 不同外源激素对李花抗寒性及相关生理指标的影响[J]. 北方园艺, 2017(11): 19-22.
- LI Xueling, PANG Haiying, NIU Dongwei, REN Shifu, LI Yanhui. Effect of different exogenous hormones on cold-resistant ability and related physiological indicators of plum flower[J]. Northern Horticulture, 2017(11): 19-22.
- [145] 杨建民, 张国良, 张林平, 黄文玉. 干旱胁迫对两个李树品种水分参数的影响[J]. 果树科学, 1997(3): 159-163.
- YANG Jianmin, ZHANG Guoliang, ZHANG Linping, HUANG Wenyu. Effects of drought stress on water parameters of two plum cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 1997(3): 159-163.
- [146] 胡晓立, 杨建民, 陈东亮, 冯晨静, 孟庆瑞, 李彦慧. NaCl 胁迫对紫叶李叶片色泽的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(12): 64-69.
- HU Xiaoli, YANG Jianmin, CHEN Dongliang, FENG Chenjing, MENG Qingrui, LI Yanhui. Effect of NaCl stress on leaf coloration of *Prunus cerasifera* var. *atropurea*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(12): 64-69.
- [147] 胡晓立, 李彦慧, 陈东亮, 冯晨静, 杨建民. 3 种李属彩叶植物对 NaCl 胁迫的生理响应[J]. 西北植物学报, 2010, 30(2): 370-376.
- HU Xiaoli, LI Yanhui, CHEN Dongliang, FENG Chenjing, YANG Jianmin. Physiological responses of three colored-leaf species of *Prunus* under NaCl stress[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(2): 370-376.
- [148] 沙翠芸, 孟庆瑞, 王静, 李单, 李盼华, 李彦慧. 两种彩叶植物对铅胁迫的生理响应[J]. 西林学院学报, 2011, 26(4): 36-40.
- SHA Cuiyun, MENG Qingrui, WANG Jing, LI Dan, LI Panhua, LI Yanhui. Physiological responses of two colored-leaf species to Pb stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4): 36-40.
- [149] 李向应, 韩亚琦, 白瑞琴, 李彦慧. SO₂ 胁迫对紫叶李生理指标的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 108-111.
- LI Xiangying, HAN Yaqi, BAI Ruiqin, LI Yanhui. Effects of SO₂ Stress on physiological parameters in *Prunus cerasifera* var. *atropurea*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(34): 108-111.
- [150] 李彦慧, 孟庆瑞, 李向应, 李保国, 杨建民. 紫叶李叶片色素含量及叶绿素荧光动力学参数对 SO₂ 胁迫的响应[J]. 环境科学学报, 2008(11): 2236-2242.
- LI Yanhui, MENG Qingrui, LI Xiangying, LI Baoguo, YANG Jianmin. Contents of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence parameters in *Prunus cerasifera* var. *atropurea* leaves under SO₂ stress[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008(11): 2236-2242.
- [151] 李彦慧. 李属彩叶树种耐 SO₂ 机制研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
- LI Yanhui. Studies on mechanism of SO₂ tolerance of colored-leaf tree species in *Prunus*[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2008.
- [152] 张佰清, 公谱, 郝义. 成熟度对冷藏晚香蕉李果肉褐变的影响[J]. 食品科技, 2019, 35(6): 67-70.
- ZHANG Baiqing, GONG Pu, HAO Yi. Effects of maturity on browning of *Prunus salicina* Lindl. during cold storage[J]. Food Science and Technology, 2019, 35(6): 67-90.
- [153] 及华, 关军锋, 冯云霄, 李丽梅, 孙玉龙. MA 包装和预贮对黑宝石李冷藏品质及褐变的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(1): 147-150.
- JI Hua, GUAN Junfeng, FENG Yunxiao, LI Limei, SUN Yulong. Effect of MA package and prestorage on quality and browning of Black Diamond plums during cold storage[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(1): 147-150.
- [154] 王睿, 王姣, 焦文晓, 刘帮迪, 李丽莉, 曹建康. 采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏效果的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 320-324.
- WANG Rui, WANG Jiao, JIAO Wenxiao, LIU Bangdi, LI Lili, CAO Jiankang. Effect of maturity on postharvest cold storage of ‘Gaixian’ plums[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(22): 320-324.
- [155] 司敏, 伍利芬, 薛华丽, 毕阳, 李永才, 王毅. 采前赤霉素处理对李果实采后冷害的抑制及部分机理研究[J]. 中国果树, 2018(4): 4-9.
- SI Min, WU Lifen, XUE Huali, BI Yang, LI Yongcai, WANG Yi. Controlling chilling injury of plum with preharvest GA₃ in postharvest and its partial mechanism[J]. China Fruits, 2018(4): 4-9.
- [156] 李金龙. 采后不同浓度钙处理对贮藏期间李果实硬度及果胶含量的影响[J]. 中国林副特产, 2015, 36(2): 20-22.
- LI Jinlong. Effect of various calcium concentrations dip treatment on firmness and pectin content during post-harvest of plum[J]. Forest by-product and Speciality in China, 2015, 36(2): 20-22.
- [157] 王艳颖, 胡文忠, 田密霞, 姜爱丽, 刘程惠. 贮前氯化钙处理对李果实冷害及生理生化的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 265-368.
- WANG Yanying, HU Wenzhong, TIAN Mixia, JIANG Meili, LIU Chenghui. Effect of prestorage calcium chloride treatment on chilling injury and physiology and biochemistry in plum fruit

- [J]. 2011, 32(9): 365-368.
- [158] 令阳, 邓丽莉, 姚世响, 曾凯芳. L-半胱氨酸处理对青脆李果实常温贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 256-261.
LING Yang, DENG Lili, YAO Shixiang, ZENG Kaifang. Effect of L-cysteine treatment on the quality of 'Qingcui' plum fruit at room temperature storage[J]. Food Science, 2019, 40(9): 256-261.
- [159] 陈嘉, 张立新, 冯志宏, 赵迎丽, 闫根柱, 王亮, 王春生. 贮藏温度和 1-甲基环丙烯对四川青脆李褐变的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 312-316.
CHEN Jia, ZHANG Lixin, FENG Zhihong, ZHAO Yingli, YAN Genzhu, WANG Liang, WANG Chunsheng. Effects of storage temperature and 1-methylcyclopropene on browning of Sichuan *Prunus americana*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(2): 312-316.
- [160] 张绍阳, 王艳, 秦晓宇, 杨兴华, 姚永. 1-MCP 处理对沙子空心李果实贮藏保鲜效应的研究[J]. 铜仁学院学报, 2015, 17(4): 1-6.
ZHANG Shaoyang, WANG Yan, QIN Xiaoyu, YANG Xinghua, YAO Yong. Storing effects of 1-MCP to *Prunus Salicina* Lindl. cv. 'Shazikongxinli' plum fruit[J]. Journal of Tongren University, 2015, 17(4): 1-6.
- [161] 牛歆雨, 刘林, 张良英. 1-MCP 对'脱骨'李常温贮藏期品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(22): 140-143.
NIU Xinyu, LIU Lin, ZHANG Liangying. Effect of 1-MCP on ripening and quality of postharvested 'Tuogu' plum at room temperature[J]. Northern Fruits, 2015(22): 140-143.
- [162] 李德燕. 温度对'冰脆李'贮藏品质德影响[J]. 北方园艺, 2014(6): 135-137.
LI Deyan. Effect of temperature on stored quality of *Prunus salicina* 'Bingcui'[J]. Northern Horticulture, 2014(6): 135-137.
- [163] 郑玮璇, 林奇, 于馨淼. 贮藏温度对'皇冠李'果实品质和抗氧化活性的影响[J]. 亚热带农业研究, 2019, 15(2): 115-120.
ZHENG Weixuan, LIN Qi, YU Xinmiao. Effect of storage temperature on fruit quality and antioxidant activity of 'Huangguanli' plum[J]. Subtropical Agriculture Research, 2019, 15(2): 115-120.
- [164] 张立新, 陈嘉, 冯志宏. 不同温度对青脆李贮藏性的影响[J]. 北方园艺, 2016(3): 129-131.
ZHANG Lixin, CHEN Jia, FENG Zhihong. Effect of different temperatures on storability of *Prunus slicina*[J]. Northern Horticulture, 2016(3): 129-131.
- [165] 王华瑞, 赵迎, 王春生, 闫根柱, 张晓宇, 李建华, 刘联生. 不同气体成分对'黑宝石'李果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 36(6): 277-300.
WANG Huarui, ZHAO Yingli, WANG Chunsheng, YAN Genzhu, ZHANG Xiaoyu, LI Jianhua, LIU Liansheng. Effect of gas composition on fruit quality of friar plum during modified atmosphere cold storage[J]. Food Science, 2011, 36(6): 277-300.
- [166] 应苗苗. 话李安全生产关键技术和工艺研究开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
YING Miaomiao. R&D of the techniques for candy plum[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [167] 杨启财. 甜味剂在话李凉果生产中的应用初探[J]. 轻工科技, 2016(1): 29-30.
YANG Qicai. Use of sweetening agent for candy plum processing[J]. Light Industry Science and Technology, 2016(1): 29-30.
- [168] 易诚. 李子风味产品加工技术[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2004, 10(3): 243-248.
YI Cheng. Plum taste production processing technology[J]. Journal of Hunan Environment -biological Polytechnic, 2004, 10(3): 243-248.
- [169] 端应华. 利用未成熟李子进行酶解制汁的研究[J]. 江苏食品与发酵, 2000(4): 20-22.
DUAN Yinghua. Study on plum juice producing techniques using enzymolysis[J]. Jiangsu Food and Fermentation, 2000(4): 20-22.
- [170] 成策, 陆俊, 韩文琪, 黄晖, 李忠海. 李子果粒果汁饮料加工工艺研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 215-218.
CHENG Ce, LU Jun, HAN Wenqi, HUANG Hui, LI Zhonghai. Study on processing technology of plum juice beverage with pulp[J]. Food & Machinery, 2015, 31(6): 215-218.
- [171] 陈丽. 李子保健果醋饮料的工艺研究[J]. 中国酿造, 2009(4): 164-166.
CHEN Li. Processing technology of plum health vinegar[J]. China Brewing, 2009(4): 164-166.
- [172] 侯会绒, 孙兆远. 发酵型李子果酒酿造工艺研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2009, 30(9): 47-48.
HOU Huirong, SUN Zhaoyuan. Study on brewing technology of fermentation plum wine[J]. Journal of Husbandry and Feed Science, 2009, 30(9): 47-48.