

# 杏种质资源收集、评价与创新利用进展

章秋平, 刘威生\*

(辽宁省果树科学研究所, 国家果树种质熊岳李杏圃, 辽宁熊岳 115009)

**摘要:** 杏种质资源的遗传多样性是产业持续发展的核心和新品种改良的基础。对杏组植物的种类及种质资源收集保存情况进行了简单介绍, 重点对杏种质资源的系统分类、起源与系统演化关系、种质资源鉴定评价以及种质创新等方面的研究进展进行综述, 针对目前种质资源精细评价、特异性状深入挖掘和创新利用潜力等方面提出了建议, 以期为中国杏种质资源创新与利用提供科学依据。

**关键词:** 杏; 种质评价; 遗传多样性; 种质创新

**中图分类号:** S 662.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2018) 09-1642-19

## Advances of the Apricot Resources Collection, Evaluation and Germplasm Enhancement

ZHANG Qiuping and LIU Weisheng\*

(Liaoning Institute of Pomology, National Germplasm Repository for Plums and Apricots, Xiongyue, Liaoning 115009, China)

**Abstract:** The genetic diversity of germplasm resources is the heart of sustainable industry development of apricot and provides the basis for the genetic improvement. In this review, the taxonomic species of the section *Armeniaca* and the collection and conservation situations of the apricot germplasm were briefly introduced. Also, the phylogenies and relationships of species, the origin and domestication of cultivars, the genetic diversity evaluations and the programs of germplasm enhancement in apricot were mainly reviewed. Finally, it is proposed to provide scientific evidence for the germplasm enhancement and further studies, which is based on the detailed evaluation of the quality of the germplasm resources, the in-depth mining of the unique germplasm, and the potential of the germplasm enhancement in the future.

**Keywords:** apricot; germplasm evaluation; genetic diversity; germplasm enhancement

杏属于蔷薇科 (Rosaceae) 李属 (*Prunus* L.) 李亚属 (*Prunophora*) 杏组 (*Armeniaca*) 植物 (Jantschi & Sestras, 2011), 原产于中国, 大约 5 000 ~ 6 000 年前已经被古代人们采食和利用 (张加延和张钊, 2003)。《夏小正》是中国现存最早的科学文献之一, 也是中国现存最早的一部汉族农事历书, 记载有“正月, 梅杏桃则华; 四月, 圉又见杏”, 意即“正月, 梅、杏、山桃开花; 四月, 园中的杏果成熟”, 该历书曾被用于周代 (约公元前 1000 年), 起源可以上推至夏代 (约公元前 2000

**收稿日期:** 2018-01-11; **修回日期:** 2018-07-16

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31401826); 辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划项目 (2014029); 农业部作物种质资源保护项目 (2017NWB003); 科技部、财政部国家科技基础条件平台项目 (NICGR2017-056)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wsluilaas@163.com)

年) (杜石然 等, 2012)。综上判断, 杏在中国至少有 3 000 ~ 4 000 年的栽培历史。

杏果实成熟早, 具有独特的香气, 在世界各地广泛栽培。杏通过丝绸之路从中国北方和新疆地区传播到伊朗、土库曼、高加索等中亚地区, 再传播至亚美尼亚、阿塞拜疆、土耳其等地 (Bailey & Hough, 1975); 而后, 罗马人征战亚美尼亚时又将其带到意大利、希腊等南欧和环地中海地区 (张加延和张钊, 2003); 然后传至中欧、东欧各国 (Faust et al., 1998); 1524 年至 1548 年间杏从意大利引入英格兰 (Asma et al., 2016)。1626 年, 杏被西班牙殖民者带到美国 (Zhebentyayeva et al., 2012)。

种质资源的遗传多样性是杏产业持续发展的核心和新品种选育的基础。本文中对国内外杏种质资源收集保存、起源与系统演化、鉴定评价和种质创新利用等方面的科研工作进总结和综合评价, 以期为中国杏种质资源创新与利用提供科学依据。

## 1 杏的种类及收集保存情况

### 1.1 杏的种类

有关杏的分类在学术界一直存在争议。根据文献统计, 约有 6 ~ 12 个种, 起源于中国的有普通杏 (*Prunus armeniaca* L.)、山杏 (*P. sibirica* L.)、辽杏 (*P. mandshurica* Maxim.)、梅 (*P. mume* Sieb.)、藏杏 [*P. holosericea* (Batal.) Kost.]、紫杏 (*P. dasycarpa* Ehrh.)、李梅杏 (*P. limeixing* Zhang & Wang)、政和杏 (*P. zhengheensis* Zhang & Lu)、洪平杏 (*P. hongpingensis* Yu & Li) 与毛背杏 (*P. hypotrichodes* Cardot) 共 10 个种 (Lu et al., 2003), 其中前 6 个种是国际上公认的种。此外, 还有起源于欧洲的卜瑞安康杏 [*P. brigantica* (Vill.) Persoon.] (Brancaf & Donnini, 2017)。然而, 傅大立等 (2010) 将栽培于河北涿鹿一带的大扁杏命名为杏亚属新种“华仁杏” (*P. cathayana* D. L.)。杏组不同种的主要特征描述如表 1 所示。

在上述种中, 普通杏 (*P. armeniaca*)、山杏 (*P. sibirica*)、辽杏 (*P. mandshurica*) 和梅 (*P. mume*) 4 个种内还有许多变种和类型 (俞德浚, 1986; Faust et al., 1998; 张加延和张钊, 2003)。普通杏是世界上主要的鲜食、加工栽培种类; 梅主要有观赏和食用两种栽培用途; 李梅杏、紫杏和华仁杏 (亦称大扁杏) 仅有少量栽培; 山杏主要用于砧木; 其余种则多处于野生状态。

### 1.2 收集保存情况

杏种质资源包括: 地方品种或类型、改良品种或品系以及有关的野生、半野生近缘植物等。杏种质资源在全世界分布很广。目前世界各国都非常重视杏种质资源的收集保存工作。前苏联植物学家 Kostina (1962) 从世界各地收集了杏的 7 个种 600 个品种类型, 率先在 Nikita 植物园克里米亚果树站 (Crimean Pomological Station, Nikita Botanical Garden) 建立了世界上第 1 个杏种质资源圃, 现保存地方品种、育成品种 (品系) 及野生类型共 718 份。目前法国国家农业研究院 (National Institute for Agronomic Research, INRA) 保存有来自法国、东欧、中亚和中国等地杏种质资源 450 份 (与 Dr. Jean-Marc Audergon 私人交流)。土耳其马拉蒂亚国家杏研究所 (Apricot Research Station Directorate, Malatya) 共收集保存 286 份杏资源, 主要以中亚加工制干杏品种为主 (与 Dr. Yılmaz Ugur 私人交流)。截至 2017 年底, 中国的国家果树种质熊岳李杏圃共收集保存杏资源 829 份, 其中中国地方品种 (类型) 618 份、国外引进品种 (系) 79 份、中国育成品种 (系) 93 份以及野生资源 39 份, 目前该圃是世界上保存规模最大的杏种质资源圃。据国际植物资源数据库统计, 除中

国外约有 30 多个国家保存有不同数量的杏种质资源，具体类型和数量详见孙浩元等（2017）的综述。

表 1 杏组物种的主要植物学特征  
Table 1 Key botanical traits of apricot species

物种名 Species	枝条特征 Tree or branch trait	叶片特征 Leaf trait	花器官特征 Flower trait	果实特征 Fruit trait	参考文献 Reference
普通杏 <i>P. armeniaca</i>	1 年生枝红褐色，光滑无毛；具多数小皮孔 Previous year's branch reddish brown; glabrous; with many pale lenticels	通常两面无毛或下面脉腋间具少量柔毛 Leaf blade usually glabrous on both surfaces, rarely abaxially pubescent in vein axil	花单生；萼筒紫红或红褐色；萼片反折 Flower solitary; hypanthium purplish, sepals reflexed	有毛或无毛；果肉多汁，成熟不开裂；核基对称 Drupe pubescent or glabrous; mesocarp succulent, not splitting when ripe; endocarp base symmetric	Lu et al., 2003
山杏 <i>P. sibirica</i>	灌木或小乔木；1 年生枝灰褐色 Shrubs or small tree; previous year's branch grayish brown	卵圆或近圆形；先端长渐尖到尾尖；有或无小叶腺 Leaf blade ovate to suborbicular; apex long acuminate to caudate; with or without small nectary	花单生；先于叶开放；萼筒基部微被短柔毛或无毛；萼片花后反折 Flower solitary; opening before leaf; hypanthium outside basally glabrous or slightly pubescent, sepals reflexed	扁球形，被短柔毛；果肉薄、干燥、不可食，成熟时沿缝合线开裂；核基不对称 Drupe compressed globose, pubescent; mesocarp thick, dry, inedible, readily separating and splitting along ventral suture at maturity, endocarp base asymmetric	Lu et al., 2003
藏杏 <i>P. holosericea</i>	1 年生枝红褐或灰褐色；幼时被短柔毛，后逐渐脱落 Previous year's branch reddish brown to grayish brown; pubescent when young, gradually glabrescent	卵圆形；幼叶两面被柔毛，逐渐脱落；叶柄被毛 Leaf blade ovate; both surfaces pubescent when young but glabrescent; petiole pubescent	花单生；花瓣浅粉红；开花后萼片反折 Flower solitary; petals white with pink veins; sepals reflexed	卵球形；果梗长 4~7 mm；果面密被柔毛；稍有果肉，成熟时不开裂；核表面有皱纹 Drupe globose; fruiting pedicel 4~7 mm; surface densely pubescent; mesocarp slightly fleshy, not splitting when ripe; endocarp surface rugose	Lu et al., 2003
梅 <i>P. mume</i>	1 年生枝绿色，光滑无毛 Previous year's branch green, glabrous	窄长椭圆形；幼叶两面被毛，后逐渐脱落 Leaf blade narrow, ovate-elliptic; both pubescent when young but glabrescent	花常单生；先于叶开放；萼片先端圆钝；花期非常早 Flower usually solitary; opening before leaf; sepals apex obtuse; very early bloom	近球形；有毛；味酸；粘核；核面具蜂窝状孔穴 Drupe subglobose, surface densely pubescent, mesocarp sour, adnate to endocarp, endocarp surface pitted	Lu et al., 2003
辽杏 <i>P. mandshurica</i>	树皮深裂，暗灰色；1 年生枝淡红褐或微绿色，无毛 Bark deeply splitting, dark gray, previous year's branch reddish brown to greenish, glabrous	幼叶两面具毛，逐渐脱落；叶先端渐尖至尾尖；叶缘具不整齐细长尖锐复锯齿 Leaf surfaces both pubescent when young but glabrescent, apex acuminate to caudate, margin irregularly acutely elongately biserrate	花单生，花梗长 7~10 mm，萼片边缘常具不明显细小锯齿 Flower usually solitary; pedicel 7~10 mm, margin inconspicuously minutely serrate	近球形；有毛；果肉肉质；味酸；核近球形；侧棱不发育，背棱近圆形 Drupe subglobose; surface densely pubescent; mesocarp fleshy, sour; endocarp subglobose; lateral ribs not developed, dorsal rib suborbicular	Lu et al., 2003
紫杏 <i>P. dasycarpa</i>	1 年生枝紫红色，光滑，无毛 Previous year's branch purplish red, smooth and glabrous	下面沿叶脉或在脉腋间具柔毛；叶柄细瘦 Leaf abaxially pubescent along vein or in vein axil; petiole thin	花常单生；花梗长 4~7 mm，被细短柔毛；萼筒钟形 Flower usually solitary; pedicel 4~7 mm, thinly pubescent; hypanthium campanulate	暗紫红色，具茸毛和浅薄果粉；果肉软；粘核；核卵形，表面稍粗糙 Drupe surface dark purplish red, thinly pubescent and glaucous; mesocarp succulent; clingstone; endocarp coarsely scabrous	Lu et al., 2003
洪平杏 <i>P. hongpingensis</i>	1 年生枝浅褐至红褐色，无毛 Previous year's branch pale brown to reddish brown, glabrous	椭圆形；上面被疏生短柔毛；下面密被浅长柔毛；叶柄密被柔毛 Leaf blade elliptic; abaxially densely yellowish brown villous; adaxially sparsely pubescent; petiole densely pubescent	不详 Unknown	近圆形，密被黄褐色茸毛；梗长 7~10 mm；核椭圆形，表面具蜂窝状小孔穴 Drupe subglobose, densely yellowish brown pubescent, pedicel 7~10 mm, endocarp ellipsoid, surface pitted	俞德俊, 1986

续表 1

物种名 Species	枝条特征 Tree or branch trait	叶片特征 Leaf trait	花器官特征 Flower trait	果实特征 Fruit trait	参考文献 Reference
背毛杏 <i>P. hypotrichodes</i>	灌木; 1 年生枝暗褐色, 后灰棕色 Shrubs; previous year's branch dark brown initially, later brownish gray	披针形; 上面无毛或少量柔毛; 下面密被浅褐色长柔毛 Leaf blade lanceolate; adaxially glabrous or rarely pilose on veins, abaxially brownish villous	花单生; 稍早于叶或同时开放; 萼筒短阔被毛; 萼片边缘有腺状纤毛, 反折; 花瓣白色, 长倒卵圆形 Flower solitary; opening slightly before or with leaf; hypanthium subcampanulate; sepals margin ciliate glandular, reflexed; petals white, long obovate	近球形; 果面具茸毛; 离核 Drupe subglobose; surface pubescent; free stone	李朝奎和蒋舜媛, 1998
李梅杏 <i>P. limeixing</i>	1 年生枝阳面黄褐色; 具扁圆形皮孔 Previous year's branch yellowish brown on exposed side; with sparse flattened orbicular lenticels	椭圆或倒椭圆形; 两面无毛或下面脉腋间具柔毛 Leaf blade elliptic to obovate-elliptic, both surfaces glabrous or abaxially pubescent in vein axils	花簇生 (1~3); 花叶齐放; 萼片与萼筒黄绿色, 开花后萼片不反折 Flower 1 to 3 in clusters, opening before or at same time as leaf, hypanthium and sepals yellowish green, sepals not reflexed	果面密被短茸毛; 无果粉; 苦仁, 粘核 Drupe surface pubescent, clingstone, seed bitter	张加延 等, 1999
政和杏 <i>P. zhengheensis</i>	1 年生枝阳面红褐色, 光滑无毛 Previous year's branch reddish brown, glabrous	长椭圆形; 上面绿色, 脉上有稀疏柔毛; 下面浅灰色, 密被长柔毛; 叶柄红色 Leaf blade elliptic; adaxially green and pilose on veins; abaxially densely grayish villous; petiole red	花常单生; 萼筒钟形, 下部绿色; 花瓣椭圆形 Flower usually solitary; hypanthium campanulate, basally green; petals elliptic	卵圆形, 被柔毛; 多汁; 粘核; 核长椭圆形, 表面粗糙, 有浅网纹 Drupe ovoid-globose, slightly pubescent; mesocarp succulent; clingstone; endocarp narrowly ellipsoid, surface scabrous and shallowly reticulate but not pitted	张加延 等, 1999
卜瑞安康杏 <i>P. brigantina</i>	灌木; 树姿开张; 枝条无刺 Shrub; spreading; non-thorny branch	阔卵圆形; 叶缘具锐复锯齿; 叶面无毛且有光泽 Leaf blade broadly oval; margin doubly serrated tooth setaceous, surface smooth and shiny	花冠较小, 白色; 每簇 2~5 朵; 花梗无毛; 开花后萼片不反折 White flower, small; 2 - 5 per cluster; stalked hairless; sepals not reflexed	近球形; 无毛; 淡黄色, 味涩; 核面基本平滑 Drupe subglobose-acute; glabrous; mesocarp yellowish, bitter; endocarp surfaces almost smooth	Brancaf & Donnini , 2017
华仁杏 <i>P. cathayana</i>	1 年生枝紫褐色, 光滑无毛 Previous year's branch purplish brown, glabrous	两面疏被短柔毛; 基部全缘; 叶柄无腺体 Leaf blade pubescent sparsely on both surfaces; entire at base; petiole not glandular	花常单生; 子房密被白色长柔毛; 花梗极短 Flower usually solitary; the ovary with white villous densely; stalked very short	长扁球形; 成熟后果肉自然开裂; 果核倒三角状卵形; 种仁大, 无苦味 Drupe long compressed globose; mesocarp splitting when ripe; endocarp triangle ovoid; the seed large and not bitter	傅大立 等, 2010

2 杏组植物的起源与演化

2.1 杏组植物间的亲缘关系及起源

根据山杏 (*P. sibirica*) 和普通杏 (*P. armeniaca*) 的核型分析, 认为山杏较普通杏稍微进化, 属于派生种 (吕增仁 等, 1986); 韩大鹏 (1999) 认为普通杏 (*P. armeniaca*) 是原始种, 梅 (*P. mume*) 为进化类型。冯晨静等 (2005) 采用 ISSR 分析表明, 普通杏 (*P. armeniaca*) 与山杏 (*P. sibirica*)、辽杏 (*P. mandshurica*) 及藏杏 (*P. holosericea*) 的亲缘关系较近, 而与紫杏 (*P. dasycarpa*) 的亲缘关系较远。吕英民等 (1994) 根据同工酶的研究认为, 杏组植物的进化方式是自然的地理隔离, 山杏 (*P. sibirica*)、辽杏 (*P. mandshurica*)、藏杏 (*P. holosericea*) 和梅 (*P. mume*) 等种均由最原始的种——普通杏 (*P. armeniaca*) 进化而来; 同时通过形态特征认为华仁杏 (也称大扁杏) 是由普通杏 (*P. armeniaca*) 和山杏 (*P. sibirica*) 自然种间杂交形成的 (章秋平 等, 2015a), 王玉柱等 (2006) 利用 RAPD 也得到同样的结论。杨会侠 (2000) 从孢粉学角度认为杏组植物的进化趋势为: 普通杏

(*P. armeniaca*) → 辽杏 (*P. mandshurica*) → 山杏 (*P. sibirica*) → 藏杏 (*P. holosericea*)。刘有春等 (2010) 的孢粉学数据也支持山杏 (*P. sibirica*) 是由普通杏 (*P. armeniaca*) 进化而来的观点。苑兆和等 (2007) 采用荧光 AFLP 标记分析, 也认为杏组的演化趋势为: 普通杏 (*P. armeniaca*) → 辽杏 (*P. mandshurica*) → 山杏 (*P. sibirica*) → 梅 (*P. mume*)。综上所述, 普通杏 (*P. armeniaca*) 是最原始的植物学种, 山杏 (*P. sibirica*)、辽杏 (*P. mandshurica*)、梅 (*P. mume*) 和藏杏 (*P. holosericea*) 等都是在普通杏 (*P. armeniaca*) 的基础上演化而来。

李属 (*Prunus*) 许多植物起源于中国, 其分布较广且容易产生种间杂交类型。Byrne (1993) 通过 6 种淀粉同工酶检测认为紫杏 (*P. dasycarpa*) 中至少含有 2 个櫻桃李 (*P. cerasifera*) 和 2 个普通杏 (*P. armeniaca*) 的特异等位基因, 认为它是普通杏 (*P. armeniaca*) 和櫻桃李 (*P. cerasifera*) 的自然杂种; 何天明 (2006) 通过人工杂交试验也得到同样的结论。杨红花等 (2007) 对各地的李梅杏 (*P. limeixing*) 种质资源进行了 RAPD 和 *S* 等位基因的 PCR 扩增分析, 结果表明, 李梅杏 (*P. limeixing*) 与李的进化趋同性可能较杏更近。Zhang 等 (2014b) 和 Fu 等 (2016) 根据 SSR 分子标记结果, 认为大扁杏具有独特的血缘关系, 支持大扁杏是普通杏 (*P. armeniaca*) 和山杏 (*P. sibirica*) 的自然种间杂种。李属叶绿体基因组具有母性遗传特点。权旭 (2010) 通过植物学特征和叶绿体基因分析, 认为洪平杏 (*P. hongpingensis*) 与李组 (Sect. *Prunus*) 关系较近, 而李梅杏 (*P. limeixing*) 与紫杏 (*P. dasycarpa*) 等种间杂种材料应单独建立一个亚属。Zhang 等 (2018) 通过核 SSR 和叶绿体 SSR 分析认为李梅杏 (*P. limeixing*) 是以中国李 (*P. salicina*) 为母本与普通杏 (*P. armeniaca*) 自然杂交形成的; 大扁杏 (*P. cathayana*) 则是以普通杏 (*P. armeniaca*) 为母本与山杏 (*P. sibirica*) 自然杂交形成的。章秋平等 (2017) 在长度约 950 bp 的 *trnL-F* 序列基础上, 分析了李亚属种级分类群间的系统发育关系, 结果表明, 紫杏 (*P. dasycarpa*) 是以櫻桃李 (*P. cerasifera*) 为母本与普通杏 (*P. armeniaca*) 种间杂交形成的; 卜瑞安杏 (*P. brigantina*) 的叶绿体单倍型则与多倍体的黑刺李 (*P. spinosa*)、欧洲李 (*P. domestica*) 相似, 它极可能是多倍体欧洲李 (*P. domestica*) 的变种。杏组中许多种或中间类型材料均是在人类栽培驯化过程中发生自然种间杂交, 并被人类选择保留下来的珍稀资源。

刘威生 (2008) 根据自然适应性进化原则, 总结认为: 山杏 (*P. sibirica*) 是由邻域性物种形成 (Parapatric speciation) 或同域性物种形成 (Sympatric speciation) 的; 辽杏 (*P. mandshurica*) 是一个典型的生态种, 是华北普通杏的种群通过扩散、迁移到寒冷的东北, 通过自然选择压力形成的新种; 藏杏 (*P. holosericea*) 是普通杏由华北向西北迁移过程中受干旱胁迫选择的结果。杏亚属不同种间的演化关系如图 1 所示。

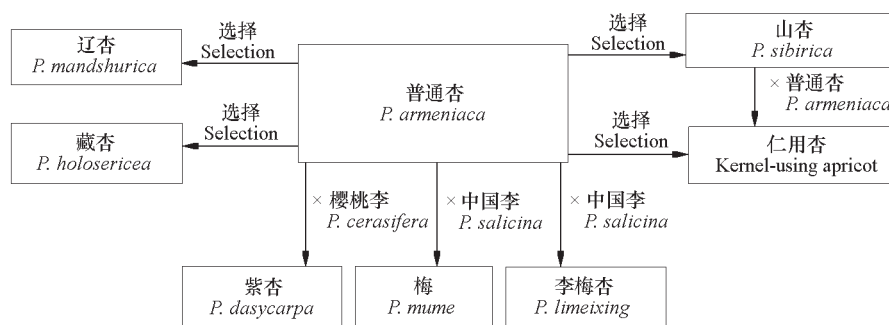


图 1 杏不同种间的可能演化关系 (改自刘威生, 2008)

Fig. 1 Possible evolutionary pathway for seven species of apricot (revised from Liu, 2008)

## 2.2 栽培杏的起源及生态群划分

Kostina (1962) 根据从世界各地收集的 600 份杏资源, 将栽培的普通杏 (*P. armeniaca*) 划分为 4 个生态地理群, 即中亚生态群、伊朗—高加索生态群、欧洲生态群和准噶尔—伊犁生态群。Faust 等 (1998) 建议增加 2 个品种群, 即华北生态群和华东生态群。张加延和张钊 (2003) 又新增加了东北亚生态群, 同时将伊朗—高加索生态群合并为中亚细亚生态群的一个亚群。因此, 目前多数国内学者认为普通杏存在以上 6 个不同的生态地理群。

伊犁天山野生普通杏被认为是世界栽培杏的原生起源种群, 对世界栽培杏的驯化起过决定性的作用 (Zhebentyayeva et al., 2003)。该地区的原始野杏种群所蕴涵的丰富的遗传多样性, 为熟期育种、耐晚霜育种及抗病育种提供了非常重要的种质资源 (Carlos et al., 2003)。Hagen 等 (2002) 的 AFLP 分子标记数据显示, 供试的杏种质沿前苏联到南欧一线表现出遗传多样性递减的趋势, 这与杏从中亚起源中心向欧洲传播的历史吻合。欧洲生态群是最年轻的一个地理生态群, 这一品种群除欧洲大陆品种外, 还包括美洲、南非和澳大利亚的商业栽培品种 (Hormaza, 2002)。He 等 (2007) 对新疆伊犁河谷的 81 个野生居群的研究表明, 伊犁天山野杏依然保持着较高的遗传多样性。同时, 新疆南疆栽培杏向西衍生出伊朗—外高加索、欧洲生态群, 向东也渗入到华北杏生态种群质中 (苑兆和 等, 2007)。因此, 认为栽培杏是由天山以北的伊犁野生杏驯化而来, 而后从天山以南的库车地区沿着丝绸之路向东、西方向进行传播 (张艳敏 等, 2009)。

杏广泛分布于中国各地, 在中国北方尤其普遍, 因此也有许多学者 (Lu et al., 2003; Liu et al., 2010; Zhebentyayeva et al., 2012) 提出栽培杏起源于中国北方的假说。Liu 等 (2010) 认为黄河中上游地区杏资源存在着丰富的多样性, 是栽培杏的起源中心, 经由河西走廊传至南疆, 而后传至中亚, 扩散到世界各地。Zhang 等 (2014b) 对不同生态群的 93 份样品进行 SSR 标记分析发现, 中国西北地区和华北地区杏品种存在着非常丰富的遗传多样性; 进一步对华北生态群的遗传群体结构分析, 在来自黄土高原的西北组杏种质中检测到较多的变异类型和丰富的多样性, 推测西北黄土高原区域可能是华北生态群普通杏的起源中心 (章秋平 等, 2013)。然而, 由于杏在中国栽培历史悠久, 很难分清这些地域材料 (包括地方品种和野生林) 是否为真正的野生材料还是被人为驯化或受人类活动影响而产生的 (Lu et al., 2003)。

尽管在杏栽培种的起源问题上仍存在争议, 但大部分学者认为杏是通过丝绸之路传至中亚其他地区, 而后在近东地区产生杏的次生中心, 欧洲生态地理群则最晚驯化。

## 3 杏的种质资源评价

### 3.1 种质资源评价的标准化与核心种质构建

为了规范杏种质资源的描述标准和鉴定评价, 中国自 20 世纪 80 年代开始尝试制定杏种质资源描述符, 1990 年由中国农业出版社发行的《果树种质资源描述符》(蒲富慎, 1990) 推动了中国杏种质资源评价工作的进程。但是, 随着杏种质资源鉴定工作逐步深入, 积累了大量的鉴定数据, 同时也发现国内外制定的杏种质资源描述符均存在一定的缺陷。在综合国内外杏种质资源评价标准的基础上, 2006 年由“多年生和无性繁殖作物种质资源标准化整理、整合及共享试点”项目资助出版了《杏种质资源描述规范和数据标准》(刘宁和刘威生, 2006) 一书。而后又通过国家农业部颁布了《农作物种质资源鉴定技术规程·杏》(NY/T 1306-2007) (刘宁 等, 2007)、《农作物优异种质资源评价规范 杏》(NY/T 2028-2011) (刘宁 等, 2011) 和《杏种质资源描述规范》(NY/T 2925-2016)

(章秋平等, 2016), 使杏种质资源评价操作技术更加规范化, 也使评价具有科学性、准确性和可比性。赵海娟等(2014)利用标准化的数量性状评价数据通过聚类分析将杏种质资源划分为 5 类不同的种质群。如表 2 所示, 在系统地形态学和农艺学性状评价基础上, 章秋平等(2009)利用国家果树种质熊岳李杏圃观测数据, 以 S 策略和优化最小距离逐步取样法(ILDSS)法, 筛选出本圃已保存普通杏的初级核心种质群。为了加强中国伊犁地区野杏多样性保护, 以新疆伊犁 3 个不同分布区的野生株系为材料利用 ISSR 标记构建出新疆野杏核心种质群体(刘娟等, 2015)。Wang 等(2011)根据《中国果树志·杏卷》(张加延和张钊, 2003)记载的形态描述特征先将 1 501 份杏资源压缩至 10%的初级核心种质, 然后利用 SSR 分子标记将杏核心种质压缩至 120 份(Zhang et al., 2013)。

表 2 不同杏核心种质的组成特征  
Table 2 The composition of different core germplasms in apricot

核心种质类型 Type of core collection	数据来源 Data source	数量 Number	组成特征 Composition character	参考文献 Reference
普通杏初级核心种质 Primary core collection in common apricot	调查数据 Investigated data	111	华北 Northern-Chinese (43), 西北 Northwestern (16), 东北 Northeast (18), 西南 Southwestern (14), 东南 Southeast (6), 国外 Exotic cultivars (14)	章秋平等, 2009
野杏核心种质 Core collection in wild apricot	ISSR 标记 ISSR marker	31	霍城县 Huocheng county (20), 新源县 Xinyuan county (3), 巩留县 Gongliu county (8)	刘娟等, 2015
杏初级核心种质 Primary core collection in apricot	文献记录数据 Bibliographic data	150	鲜食 Fresh cultivars (119), 仁用 Kernel consuming (10), 李杏杂种 Inter-specific hybrids (9), 观赏及砧木 Ornamental and rootstocks (12)	Wang et al., 2011
杏核心种质 Core collection in apricot	SSR 标记 SSR marker	120	鲜食 Fresh cultivars (96), 仁用 Kernel consuming (8), 李杏杂种 Inter-specific hybrids (7), 观赏及砧木 Ornamental and rootstocks (9)	Zhang et al., 2013

遗传多样性评价方法是传统的植物学和农艺学方法相结合, 但是遗传变异易受自然环境和人为因素影响。随着分子生物学技术的发展, 不同类型的分子标记开始在杏遗传多样性研究中应用。但这需要有足够多的引物数量或等位变异信息量, 才能真正地反映出不同种质材料间的遗传变异关系。章秋平等(2015b)通过观察不同等位变异数的相关矩阵变化, 分析使用 SSR 分子标记数量对杏材料间真实遗传关系的影响, 发现客观评价杏材料遗传群体间的真实关系时, 所需最小 SSR 等位变异数与样本群体大小之间的估算方程为  $Y = 149.5\ln(X/12) + 200.2$  (其中,  $X$  为样本大小,  $Y$  为等位变异数), 其相关性达 97.5%。

3.2 种质资源鉴定与指纹图谱

王玉柱等(1998)认为普通杏各品种及与山杏种间花粉外壁纹饰均有明显差异, 对杏属、种、品种鉴定具有重要意义。Arzani 等(2005)发现 11 个伊朗栽培杏品种花粉外壁纹饰, 特别是条脊和孔穴差异特征明显, 认为结合树形特征是鉴别不同杏品种的重要途径。但廖明康等(1994)对 36 份杏材料的自然干燥花粉进行扫描电镜观察, 认为依据花粉形态鉴定新疆自然实生繁殖的杏品种意义不大, 这可能是品种间差异较小造成的。

在利用分子标记鉴定种质资源方面, 吴树敬和陈学森(2003)对 20 个杏品种进行聚类分析, 结果将‘红丰’、‘新世纪’等品种聚为一类, 并将参试品种分为 7 类, 建立了 20 个杏品种的 RAPD 指纹图谱, 且每一个引物的鉴别率在 10%~70%之间。刘威生等(2005)用 42 个引物建立了 12 份杏材料的 ISSR 指纹图谱。Krichen 等(2006)和 Bourguiba 等(2010)比较来自不同地区的突尼斯

杏品种间的遗传多样性, 建立了突尼斯本地杏品种的鉴别图谱。艾鹏飞等 (2014) 利用 SRAP 标记分析仁用杏品种的遗传多样性, 认为 Me4-Em4 引物可以用于构建 24 份仁用杏品种的指纹检索系统。

克隆选择 (clonal selection), 也叫营养系选种, 是从无性繁殖的混杂群体中选择优良单株 (系), 克隆系的变异来源于突变、机械混杂和有性繁殖 (王燕 等, 2012)。严格意义上, 这种变异来源于自然发生的体细胞微突变 (somatic micromutation), 很难进行区分。刘威生 (2008) 利用 22 对 SSR 分子标记发现 ‘C210-5’ 与母株 ‘龙王帽’ 相比, 仅在 CPPCT03 位点上产生了突变。

### 3.3 S 基因型的鉴定评价

杏是配子体自交不亲和 (SI) 植物, 自交不亲和性状由位于 LG6 连锁群上 S 基因座的复等位基因控制。在基因组上该位点包括两个主要的基因类型, 即花柱核糖核酸酶基因 (S-RNase) 和花粉 F-box 蛋白基因 (SFB), 这两个基因在 S 位点上均表现出高度多态性, 但有关 SFBs 的功能还不清楚 (Zhebentyayeva et al., 2012)。自交不亲和杏品种需要选择配备适宜的授粉树, 而 S 基因型鉴定是快速选择适宜授粉树的辅助工具。

目前鉴定杏 S 基因型的方法主要有 2D-PAGE 电泳检测, 不同品种花柱蛋白质特定等电点和分子量的差异, 以及利用 PCR 扩增手段区分不同 S-RNase 核苷酸序列差异。起初, Albuquerque 等 (2002) 在地中海和北美地区杏品种中新检测到 7 个自交不亲和等位基因 ( $S_1 \sim S_7$ ) 与 1 个自交亲和等位基因 (SC)。接着, Halász 等 (2005) 又在东欧和中亚品种群中检测到 9 个新的 S-RNase 等位基因 ( $S_8 \sim S_{16}$ )。中国杏品种 S-RNase 等位基因非常丰富, Zhang 等 (2008) 用 16 份中国杏品种检测到 10 个新的 S-RNase 等位基因; Wu 等 (2009) 又发现了 8 个 S-RNase 等位基因; 姜新等 (2012) 在 27 份新疆杏品种共检测到 19 个不同的 S-RNase 等位基因, 其中 15 个是新等位基因。总之, 在中国的杏品种中大约检测到 50 多个 S-RNase 等位基因; 欧洲的品种共检测到 21 个 S-RNase 等位基因, 其中 20 个是自交不亲和基因。

花粉 SFB 基因与 S-RNase 基因紧密连锁, 两者在基因序列高变区存在着相对应的多态性。Halász 等 (2007) 认为自交亲和性基因 SC 是在花粉 SFB 单倍型 ( $SFB_8$ ) 上发生了 358 bp 片段的插入突变后产生的, 并认为 SC-RNase 比 SFB 序列存在较多的变异。刘月霞等 (2011) 在 18 份新疆品种中共检测到 12 个新的 SFB 等位基因。

### 3.4 风味物质化学组分的评价

分析风味物质 (香味物质及糖、酸等) 的组成是果品质量评价及育种利用的基础。Tang 和 Jennings (1967) 首次从欧洲杏品种 ‘Blenheim’ 果实中分离出 15 种挥发性物质, 而后其他研究者也陆续鉴定出多种香味物质, 认为  $\beta$ -紫罗酮和  $\gamma$ -十二内酯等是杏果实的特征香气成分。陈美霞等 (2004) 在 ‘新世纪’ 和 ‘红丰’ 果实中分别检测出 74 和 72 种香气成分, 认为其含量不同是导致两个品种香味差异的主要原因。Greger 和 Schieberle (2007) 认为杏果实中主要的香气组分是芳樟醇、醛类和内酯类等。周围等 (2009) 从 6 个甘肃杏品种中测出 40 种相同成分, 但它们的含量存在较大差异。卢娟芳等 (2016) 认为芳樟醇、 $\gamma$ -癸内酯、 $\delta$ -十二内酯以及部分醛、酮类物质等 22 种成分构成了新疆杏果实的特征香气。Zhang 等 (2014a) 利用顶空固相微萃取 (SPME) 和气质联用技术在 85 份中国地方杏品种中共检测到 156 种香气物质, 其中 62 种为首次在杏果实中检测到; 每份种质中检测到的香气物质从 39 种到 85 种不等, 其中 ‘蜜陀罗’ 和 ‘大拳杏’ 香气种类最多; 中国西北地方杏品种的香气物质含量较高, 而西南地区杏种质资源的香气含量较低。综上所述, 杏果实的主要香气物质是由酯类、内酯类、酮类、醇类和醛类等化合物组成, 且不同生态群间的香气组分差异明显。



陈美霞等(2006)采用高效毛细管电泳从 10 份杏品种果实中分离糖酸组分,结果表明,糖组分及总糖含量在品种间差异较大,根据有机酸组成不同,可将参试品种分为柠檬酸型和苹果酸型,这与张丽丽等(2010)的结论一致。张丽丽等(2009)检测了 91 份来自不同地区的杏种质资源,结果表明,杏果实中可溶性糖的主要成分是蔗糖,约占 74%,其次为葡萄糖和果糖,并且含有少量山梨醇糖;绝大多数种质果实中有机酸的主要成分是苹果酸,约占 66%,其次是柠檬酸、琥珀酸和奎宁酸;华东地区种质的蔗糖平均含量较高,朝鲜种质则较低;美洲种质的葡萄糖和果糖平均含量均较高,朝鲜种质则较低;中南地区种质果实苹果酸和总酸平均含量均显著高于其他地区;中国东北地区杏种质的果实柠檬酸含量显著高于其他地区。

### 3.5 遗传多样性及群体结构评价

分子标记由于不受环境影响和具有较高的信息量等优势,常被认为是检测植物遗传多样性和群体结构分化的有效工具。沈向等(2000)对 43 个杏品种进行 RAPD 扩增,经过聚类分析发现,品种间表现出较强的地理分布集中性,也有广泛的遗传信息交流。de Vicente 等(1998)利用 RFLP 技术,对 52 个欧洲及北美杏栽培品种进行了遗传多样性研究,结果发现西班牙栽培品种间表现出来较低的遗传多样性,认为该地区杏在长期进化中存在着瓶颈问题,从而降低了其遗传多样性。Hormaza(2002)采用 SSR 标记对不同地理起源的 48 个杏品种进行分析,通过聚类结果得出,大多数美洲品种不仅倾向于欧洲血统,也含有亚洲血统。Sánchez-Pérez 等(2006)利用 17 个 SSR 标记评价了来自欧洲和美国品种的遗传杂合度,认为含有亚洲血统的北美杏品种能够增加西班牙杏品种的遗传杂合度,而其本土地方品种的遗传杂合度较低。Bourguiba 等(2012)利用 SSR 标记分析了 207 份环地中海地区杏种质资源遗传多样性情况,认为从高加索地区向地中海南北岸传播过程中杏品种的遗传多样性在不断减少。Zenbentyayeva 等(2003)、Maghuly 等(2005)和 Pedryc 等(2009)对 6 个不同生态地理群的杏品种进行了遗传多样性分析,认为现代栽培杏品种主要是从野生普通杏进化而来,相邻栽培品种群间存在基因渗透现象,中国起源中心在杏驯化中起了很大的作用。

He 等(2007)利用 SSR 对新疆伊犁河谷 3 个野生普通杏群落的遗传结构进行了研究,发现该地区野生普通杏群落保持着较高的遗传多样性水平。通过分析 14 个野生杏种群的遗传多样性后,认为伊犁河谷野生杏不同种群间存在稳定的基因流(李明 等,2016)。何天明等(2006)和苑兆和等(2008)分别通过 SSR、AFLP 标记分析,认为南疆栽培杏具有丰富的遗传多样性,而库车地区杏品种的多样性最为丰富,推测其可能是从野生杏直接演化而来。苑兆和等(2008)进一步分析不同生态群普通杏的差异,认为华北生态群普通杏遗传多样性低于中亚生态群(新疆南疆品种)和欧洲生态群,然而其材料仅选取了 9 份来源于陕西和华北平原区域的主栽品种。张淑青等(2010)利用 17 对 SSR 标记对 66 份普通杏(含有 46 份华北生态群材料)检测得到较高的期望杂合度(0.68)。章秋平等(2013)利用 21 对 SSR 引物对 67 份华北生态群普通杏的遗传多样性和群体结构分析,认为华北生态群普通杏的遗传多样性远远高于其他生态群普通杏;且中国西北地区(包括甘肃、宁夏、陕西和山西等地)是普通杏的多样性中心;从华北生态群中分化出的西南、山东及辽南丘陵地区的种质资源均带有明显的地域特征。由于栽培历史悠久,Zhang 等(2014b)认为杏华北生态群与东北生态群、东南生态群以及中亚生态群的南疆地方品种在悠久的栽培历史中存在着较多的种质交换。与此同时,处于相对主产区比较偏远的边缘生态类群,可能由于渐渗杂交等原因而形成了含有辽杏(*P. mandshurica*)和山杏(*P. sibirica*)基因的东北生态群和含有梅(*P. mume*)基因的东南耐高温高湿生态群。

## 4 杏种质资源的创新利用

### 4.1 地方品种、引进品种的直接利用

中国杏资源丰富,但在育种领域起步很晚。在杏资源的科学收集与评价早期,主要以地方名优品种的筛选和直接推广利用为主,如陕西的‘张公园’和‘华县大接杏’,甘肃的‘兰州金妈妈’和‘唐汪川大接杏’,河北的‘串枝红’和‘沙金红’,北京的‘骆驼黄’,山东的‘红荷包’以及仁用杏品种‘龙王帽’、‘一窝蜂’、‘白玉扁’等在全国各杏产区大面积发展,成为当地主栽品种,奠定了中国杏产业基础。

后来,随着国内外杏种质的不断交换和引种,一些品质较好的国外改良杏品种开始在国内规模化栽培生产,这类引进品种具有品质较好、颜色纯正、果肉硬度大,贮运性能好等特点,能够满足市场化需求。例如,1991年由山东省果树研究所从美国引进的‘凯特’(陈淑锋,2001)和‘金太阳’(孙山等,2003)。

### 4.2 营养系选择与实生选择

营养系选种,就是从无性繁殖的混杂群体中选择优良单株(系)。在长期无性繁殖栽培下体细胞微突变逐渐积累,使原品种的品质和产量出现了变化(王燕等,2012)。在杏树现代化栽培早期,这种选种方式使栽培生产中的古老品种不断纯化和生产良种化。例如,辽宁省果树科学研究所从河北涿鹿县杨家坪林场选出6个大扁杏优系。经过多年鉴定,从中筛选出‘国仁’和‘丰仁’两个品种(刘宁等,1999)。山西省果树研究所从‘金太阳’芽变中筛选出适合设施栽培的‘金矮’杏(田建保等,2007)。

实生选种是杏种质资源最便捷高效的利用方法,中国各科研单位通过实生选种得到了许多新优品种,如河北农业大学在‘串枝红’后代中选出的‘金星’(吕增仁,1996)和在‘龙王帽’后代中选出了花期耐低温的仁用杏新品种‘围选1号’(李彦慧等,2010);黑龙江省农业科学院园艺分院在‘义和杏’实生后代中选出了适应高纬度地区栽培的‘龙园桃杏’(曾烨等,1996);河北省石家庄果树研究所在‘大丰’杏自然杂交的实生后代中选出了‘硕光’(赵习平等,2010)。另外,西安丰园果业科技有限公司从‘金太阳’实生后代中选出具有自主知识产权的‘丰园红’(杜锡莹等,2009)和‘丰园77’(杜锡莹等,2014)。通过实生选种虽然稳定了地方杏品种的优良风味性状,但仍无法有效地改变杏品种不易长途运输的性能。

### 4.3 常规杂交育种

人工杂交是杏育种者最常用的育种手段。虽然中国杏人工杂交育种起步较晚,但全国各地科研单位也选育出许多优良品种(杨丽等,2011),目前已有许多利用有性杂交育成的品种推广应用。如石家庄果树研究所以‘串枝红’为母本,‘二红杏’为父本育成了鲜食加工兼用新品种‘冀光’(赵习平等,2002);北京市农林科学院林业果树研究所以‘大偏头’为母本,‘红荷包’为父本育成了早熟杏新品种‘京早红’(王玉柱等,2011)以及由‘串枝红’×‘金玉杏’杂交育成的‘京佳2号’(王玉柱等,2014)。再如,结合胚挽救技术由山东农业大学选育出‘新世纪’(‘二花槽’×‘红荷包’)(陈学森等,2001a)、‘山农凯新1号’(‘凯特’×‘新世纪’)(陈学森等,2005)等系列产品;山东省果树研究所选育出‘试管早红1号’和‘试管红光1号’等品种(石荫坪等,2002,2003)。另外,赵习平等(2015)通过常规杂交育种选育出首个加工专用杏品种‘金秀’。

在种质创新及育种目标方面, 中国杏育种仍以选育优质丰产的鲜食品种为主。鲜食杏品种的育种目标首先丰产, 其次是早熟, 再者具有良好的外观品质和内在品质(陈学森 等, 2001b)。通过近 20 年的杏品种选育, 形成的大多数品种都具有高产、风味佳等特点。但是, 大多数育种者对于杏“优质”的认识仍仅停留在风味上, 很少注重外观品质、果实硬度、货架期等商品性能的选择。一般地讲, 中国杏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。尽管从国外引进的品种外观好、耐贮运, 但鲜食品质欠佳, 风土适应性较差。Liu 等(2012a)提出利用地方优良品种与国外引进品种杂交选育优质耐贮高抗新品种的路径(简称“West + East”的路径)。在此思路的指导下, 辽宁省果树科学研究所先后选育出‘国强’(张玉萍 等, 2010)、‘国丰’(孙猛 等, 2010)、‘国富’和‘国之鲜’等系列品种。

在国外杏育种中, 政府公共基金资助的育种项目主要是以抗病性和适应性为目标开展工作(Zhebentyayeva et al., 2012), 例如欧盟公共基金资助的杏育种目标主要是抗李痘病、褐腐病、萎黄性卷叶病以及环境适应性强的品种(Bassi & Audergon, 2006)。随着李痘病发生区域的不断蔓延, 早期选自北美的少数几份抗源种质(如, SEO、Stella 和 Goldrich)明显限制了杏育种的亲本选择。随着种质资源评价的逐渐深入, 育种者开始越来越重视中国野生辽杏、山杏和梅等种质作为新的抗源材料(Soriano et al., 2012)。

#### 4.4 远缘杂交

众多果树育种者都尝试着将杏近缘种(如中国李、扁桃和普通桃等物种)的优良基因导入普通杏。在长期的栽培选择中, 许多中国李与普通杏的自然杂交种被保存下来, 如‘郟城杏梅’、‘泰安杏梅’和‘昌黎杏梅’等地方珍稀资源。由于李杏杂交种具有果实外观鲜艳、果肉质地硬以及成熟后的特殊香气等特点, 美国私人育种家 Zaiger 成功选育出‘风味皇后’、‘恐龙蛋’、‘味帝’和‘味厚’等系列李杏种间杂交品种(Topp et al., 2012)。21 世纪初, 这些品种被中国林业科学院经济林研究中心引入到国内并大面积推广。在国内, 李锋等(1995)对中国李与普通杏种间杂交的亲合性进行了研究。黑龙江省农业科学院牡丹江园艺分院也通过李、杏反复杂交选育出‘牡红杏’(刘延杰等, 1999)、‘龙园黄杏’(曾烨 等, 2001)和‘龙园甜杏’(牟蕴慧 等, 2008)等系列品种, 为高寒地区杏栽培提供了适宜的新品种。Yang 等(2004)针对远缘杂交的不亲和性和不育性提出了“三级放大”的研究思路(以自交亲和或自然坐果率高的种或品种作母本、杂种幼胚通过培养基进行胚抢救、在培养基上对胚培苗诱导多丛芽及增殖培养), 并成功获得了一批包括李 × 杏、桃 × 杏等系列远缘杂交新种质。北京林业果树科学研究院利用扁桃(*P. amygdalus*)与以食用果仁为主的大扁杏进行远缘杂交, 成功筛选出‘京仁 1 号’、‘京仁 2 号’和‘京仁 3 号’等核仁显著大于亲本的新品系, 并均取得了新品种保护权。另外, 在国外利用远缘杂交技术进行杏砧木种质创新的研究较多, 例如法国农业科学院通过该技术创制出‘Manicot GF1236’和‘Clone Canino 9-7’两份杏砧木(Zhebentyayeva et al., 2012)。

### 5 问题与展望

#### 5.1 加大抗性资源/基因评价和利用

目前国内外学者均认为杏抗性资源丰富, 但由于抗性鉴定方法繁琐、成本较高和重复性差等原因, 国内很少系统地从事这方面的鉴定评价。例如, PPV 病毒(李痘病毒), 俗称 Sharka, 影响杏、

桃和李树生长, 严重情况下会导致落果, 可造成减产 80%~100% (Lalli et al., 2008)。国外不仅对此病毒的抗性表型和基因进行了深入鉴定, 还通过杂交育种使该抗源基因渗透到选育的新品种中 (Soriano et al., 2012)。Zhang 等 (2017) 利用与抗李痘病紧密连锁的分子标记对中国 86 份杏种质进行了初步筛选, 发现虽然中国杏边缘种质存在着较多的稀有等位基因, 但大部分主栽杏品种的基因型与已知感病品种相同, 存在较高的感病风险。然而, 国内杏育种者却很少重视抗性育种。

## 5.2 重视复杂性状的解析与精细评价

大多数重要农艺性状、经济性状 (如开花期等性状) 是典型的数量性状, 受多个基因和环境因素共同影响, 很难进行准确鉴定和遗传分析。如果从发育生理等角度, 将性状分解为多个生理性状或指标, 则精细评价就可能较为准确。例如, 杏属于早花果树, 易受晚霜伤害。筛选抗晚霜资源、选育抗晚霜品种是杏种质资源评价与创新利用的一个重要任务。杏树开花时间是受其需冷量 (生理休眠) 与需热量 (生物学积温) 共同控制, 如果先分别评价需冷量和需热量, 而后再分析两者之间的关系, 这可能是杏抗晚霜研究的一个重要切入角度。

## 5.3 关注特异资源, 开展特色种质创新

大扁杏是中国特有的种质资源, 其营养保健价值不亚于扁桃 (俗名, 美国大杏仁), 其市场需求量和栽培潜力远远大于鲜食 (Liu et al., 2012b)。然而, 国内研究单位却很少重视这方面的种质创新研究, 仅北京林业果树科学研究院利用扁桃与大扁杏远缘杂交创新出 3 个 ‘京仁’ 系列品系 (杨丽 等, 2011)。另外, 在杏赏花资源利用方面, 利用普通杏或山杏的抗寒、抗旱性与梅等近缘种进行杂交, 创造有观赏价值的新种质, 也将是杏种质创新利用的一个重要方向。

## References

- Ai Peng-fei, Su Shan, Jin Zhan-zhong. 2014. Analysis of genetic diversity and development of fingerprinting key among accessions of kernel-using apricot using SRAP markers. *Acta Horticulturae Sinica*, 41 (6): 1191 - 1197. (in Chinese)
- 艾鹏飞, 苏 珊, 靳占忠. 2014. 仁用杏品种 SRAP 遗传多样性分析及指纹检索系统的开发. *园艺学报*, 41 (6): 1191 - 1197.
- Albuquerque N, Egea J, Pérez-Tornero O, Burgos L. 2002. Genotyping apricot cultivars for self- (in) compatibility by means of RNases associated with S alleles. *Plant Breed*, 121: 343 - 347.
- Arzani K, Nejatian M A, Karimzadeh G. 2005. Apricot (*Prunus armeniaca*) pollen morphological characterization through scanning electron microscopy using multivariate analysis. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33: 381 - 388.
- Asma B M, Mısırlı A, Bilgin N A, Yanar M. 2016. Apricot culture and breeding studies in Turkey. *Chronica Horticulturae*, 56 (3): 15 - 21.
- Bailey C H, Hough L F. 1975. Apricots//Janick J, Moore J N. *Advances in fruit breeding*. Indiana, USA: Purdue University Press: 367 - 383.
- Bassi D, Audergon J M. 2006. Apricot breeding: update and perspectives. *Acta Horticulturae*, 701: 279 - 294.
- Bourguiba H, Audergon J M, Krichen L, Trifi-Farah N, Mamouni A, Trabelsi S, Donofrio C, Asma B M, Santoni S, Khadari B. 2012. Loss of genetic diversity as a signature of apricot domestication and diffusion into the Mediterranean Basin. *BMC Plant Biology*, 12 (1): 49.
- Bourguiba H, Krichen L, Audergon J M, Khadari B, Trifi-Farah N. 2010. Impact of mapped SSR markers on the genetic diversity of apricot (*Prunus armeniaca* L.) in Tunisia. *Plant Molecular Biology Reporter*, 28 (4): 578 - 587.
- Branca F, Donnini D. 2017. *Prunus brigantina*. The IUCN red list of threatened species [EB/OL], [2017-03-22]. <http://www.iucnredlist.org/details/summary/172164/0.htm>.
- Byrne D H. 1993. Isozyme phenotypes support the interspecific hybrid origin of *Prunus × dasycarpa* Ehrh. *Fruit Varieties Journal*, 47 (3): 143 - 145.
- Carlos R, Andrzej P, Veronica M, Gerardo L, Maria L B. 2003. Genetic diversity of different apricot geographical groups determined by SSR markers. *Genome*, 46: 244 - 252.

- Chen Mei-xia, Chen Xue-sen, Ci Zhi-juan, Shi Zuo-an. 2006. Changes of sugar and acid constituents in apricot during fruit development. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (4): 805 – 808. (in Chinese)
- 陈美霞, 陈学森, 慈志娟, 史作安. 2006. 杏果实糖酸组成及其不同发育阶段的变化. *园艺学报*, 33 (4): 805 – 808.
- Chen Mei-xia, Chen Xue-sen, Feng Bao-chun. 2004. GC-MS analysis of fruit aroma components of two apricot cultivars. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (5): 663 – 665. (in Chinese)
- 陈美霞, 陈学森, 冯宝春. 2004. 两个杏品种果实香气成分的气相色谱—质谱分析. *园艺学报*, 34 (5): 663 – 665.
- Chen Shu-feng. 2001. Early fertility cultivation techniques of ‘Katy’ apricot. *China Fruits*, (6): 36 – 38. (in Chinese)
- 陈淑锋. 2001. 凯特杏早期丰产栽培技术. *中国果树*, (6): 36 – 38.
- Chen Xue-sen, Gao Dong-sheng, Li Xian-li, Zhang Yan-min, Zhang Lian-zhong. 2001a. ‘Xinshiji’ – a new early ripening apricot variety obtained by embryo culture. *Acta Horticulturae Sinica*, 28 (5): 475. (in Chinese)
- 陈学森, 高东升, 李宪利, 张艳敏, 张连忠. 2001a. 胚培早熟杏新品种——‘新世纪’. *园艺学报*, 28 (5): 475.
- Chen Xue-sen, Li Xian-li, Zhang Yan-min, Wu Shu-jing, Shen Hong-bo, Shu Huai-rui. 2001b. Reviews of the apricot germplasm resources evaluation and genetic breeding. *Journal of Fruit Science*, 18 (3): 178 – 181. (in Chinese)
- 陈学森, 李宪利, 张艳敏, 吴树敬, 沈洪波, 束怀瑞. 2001b. 杏种质资源评价及遗传育种研究进展. *果树学报*, 18 (3): 178 – 181.
- Chen Xue-sen, Shu Huai-rui, Li Xian-li, Gao Dong-sheng, Zhang Yan-min, Shen Xiang, Chen Xiao-liu, He Tian-ming. 2005. ‘Shannongkaixin 1’ – a new apricot variety obtained by embryo culture. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (1): 176. (in Chinese)
- 陈学森, 束怀瑞, 李宪利, 高东升, 张艳敏, 沈向, 陈晓流, 何天明. 2005. 胚培杏新品种——‘山农凯新1号’. *园艺学报*, 32 (1): 176.
- de Vicente M C, Truco M J, Egea J, Burgos L, Arus P. 1998. RFLP variability in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Plant Breeding*, 117: 153 – 158.
- Du Shi-ran, Fan Chu-yu, Chen Mei-dong, Jin Qiu-peng, Zhou Shi-de, Cao Wan-ru. 2012. History of science and technology in China (revised edition). Beijing: Peking University Press: 40 – 45. (in Chinese)
- 杜石然, 范楚玉, 陈美东, 金秋鹏, 周世德, 曹婉如. 2012. 中国科学技术史稿(修订版). 北京: 北京大学出版社: 40 – 45
- Du Xi-ying, Li Qian-en, Du Shao-ken. 2009. ‘Fengyuanhong’ – a new early ripening apricot variety. *China Fruits*, (1): 6 – 8. (in Chinese)
- 杜锡莹, 李迁恩, 杜少恩. 2009. 杏早熟新品种‘丰园红’的选育. *中国果树*, (1): 6 – 8.
- Du Xi-ying, Li Qian-en, Du Yan-qun, Du Shao-ken. 2014. ‘Fengyuan 77’ – a new early ripening apricot variety. *China Fruits*, (1): 5 – 7. (in Chinese)
- 杜锡莹, 李迁恩, 杜燕群, 杜少恩. 2014. 杏早熟新品种‘丰园77杏’的选育. *中国果树*, (1): 5 – 7.
- Faust M, Suranyi D, Nyujto F. 1998. Origin and dissemination of apricot. *Horticultural Reviews*, 22: 248 – 249
- Feng Chen-jing, Zhang Yuan-hui, Xu Xiu-ying, Shi Guo-hong, Liu Wei-sheng, Meng Qing-rui, Yang Jian-min. 2005. Genetic diversity revealed by ISSR marker in apricot. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 28 (5): 52 – 55. (in Chinese)
- 冯晨静, 张元慧, 徐秀英, 师国洪, 刘威生, 孟庆瑞, 杨建民. 2005. 14 份杏种质的 ISSR 分析. *河北农业大学学报*, 28 (5): 52 – 55.
- Fu D L, Ma L Y, Qin Y, Liu M P, Zhao H, Zhu G P, Fu H. 2016. Phylogenetic relationships among five species of *Armeniaca* Scop. (Rosaceae) using microsatellites (SSRs) and capillary electrophoresis. *Journal of Forestry Research*, 27 (5): 1077 – 1083.
- Fu Da-li, Li Bing-ren, Fu Jian-min, Li Jian-hong, Yang Shao-bin, Zhou Dao-shun, Liu Meng-pei. 2010. A new species of *Armeniaca* scop. from China. *Bulletin of Botanical Research*, 30 (1): 1 – 3. (in Chinese)
- 傅大立, 李炳仁, 傅建敏, 李建宏, 杨绍彬, 周道顺, 刘梦培. 2010. 中国杏属一新种. *植物研究*, 30 (1): 1 – 3.
- Greger V, Schieberle P. 2007. Characterization of the key aroma compounds in apricots (*Prunus armeniaca* L.) by application of the molecular sensory science concept. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 5221 – 5228.
- Hagen L S, Khadari B, Lambert P, Audergon J M. 2002. Genetic diversity in apricot revealed by AFLP markers: species and cultivars comparisons. *Theoretical and Applied Genetics*, 105: 298 – 305.
- Halász J, Hegedus A, Herman R, Stefanovits-Bányai E, Pedryc A. 2005. New self-incompatibility alleles in apricot (*Prunus armeniaca* L.) revealed by stylar ribonuclease assay and S-PCR analysis. *Euphytica*, 145: 57 – 66.
- Halász J, Pedryc A, Hegedus A. 2007. Origin and dissemination of the pollen-part mutated SC haplotype which confers self-compatibility in apricot

- (*Prunus armeniaca*) . The New Phytologist, 176: 792 - 803.
- Han Da-peng. 1999. The karyotype study of Chinese apricot resources in some species and varieties [M. D. Dissertation] . Shenyang: Shenyang Agricultural University. (in Chinese)
- 韩大鹏. 1999. 我国杏属植物资源及其一些种和变种的核型研究[硕士论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
- He Tian-ming, Chen Xue-sen, Gao Jiang-sheng, Zhang Da-hai, Xu Lin, Wu Yan. 2006. Using SSR markers to study population genetic structure of cultivated apricots native to Xinjiang. Acta Horticulture Sinica, 33 (4): 809 - 812. (in Chinese)
- 何天明, 陈学森, 高疆生, 张大海, 徐麟, 吴燕. 2006. 新疆栽培杏群体遗传结构的 SSR 分析. 园艺学报, 33 (4): 809 - 812.
- He Tian-ming. 2006. Study on genetic diversity of Chinese common apricot (*Prunus armeniaca*) germplasm and origin of purple apricot (*Prunus dasycarpa*) [Ph. D. Dissertation] . Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 何天明. 2006. 中国普通杏 (*Prunus armeniaca*) 种质资源遗传多样性及紫杏 (*Prunus dasycarpa*) 起源研究 [博士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- He T M, Chen X S, Xu Z, Gao J S, Lin P J, Liu W, Liang Q, Wu Y. 2007. Using SSR markers to determine the population genetic structure of wild apricot (*Prunus armeniaca* L.) in the Ily Valley of West China. Genetic Resources and Crop Evolution, 54: 563 - 572.
- Hormaza J I. 2002. Molecular characterisation and similarity relationships among apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes using simple sequence repeats. Theor Appl Genet, 104: 321 - 328.
- Jantschi L, Sestras R E. 2011. Local using of integrated taxonomic information system (ITIS) . Bulletin UASVM Horticulture, 68 (1): 62 - 67.
- Jiang Xin, Cao Xiao-yan, Wang Da-jiang, Feng Jan-rong, Liu Yue-xia, Fan Xin-min. 2012. Identification of self-incompatibility *S-RNase* genotypes for apricot cultivars in south of Xinjiang area. Journal of Fruit Science, 29 (4): 569 - 576. (in Chinese)
- 姜新, 曹晓艳, 王大江, 冯建荣, 刘月霞, 樊新民. 2012. 新疆杏品种自交不亲和和 *S-RNase* 基因型的鉴定. 果树学报, 29 (4): 569 - 576.
- Kostina K F. 1962. Classification of cultivated apricot varieties. Brussels: Soviet Union Sci 16th Inter Hort Congress, (1): 54 - 56.
- Krichen L, Mnejja M, Arùs P, Marrakchi M, Trifi-Farah N. 2006. Use of microsatellite polymorphisms to develop an identification key for Tunisian apricots. Genetic Resources and Crop Evolution, 53 (8): 1699 - 1706.
- Lalli D A, Abbott A G, Badenes M L, Darmsteegt V, Polák J, Krška B, Salava J. 2008. A genetic linkage map for an apricot (*Prunus armeniaca* L.) BC1 population mapping *Plum Pox Virus* resistance. Tree Genetics & Genomes, 4: 481 - 493.
- Li Chao-luan, Jiang Shun-yuan. 1998. New combinations in *Armeniaca* Mill. and *Cerasus* Juss. (Rosaceae) . Acta Phytotaxonomica Sinica, 36 (4): 367 - 372. (in Chinese)
- 李朝奎, 蒋舜媛. 1998. 杏属和樱属植物新组合. 植物分类学报, 36 (4): 367 - 372.
- Li Feng, Zhang Feng-fen, Cao Xi-jun, Zhang Bing-yu. 1995. Study on distant hybridization and affinity of the hybrid between the plum and apricot. Journal of Jilin Agricultural University, 17 (4): 36 - 39. (in Chinese)
- 李锋, 张凤芬, 曹希俊, 张冰玉. 1995. 李、杏及杂种间远缘杂交和亲和性研究. 吉林农业大学学报, 17 (4): 36 - 40.
- Li Ming, Hu Xia, Miao Xing-jun, Xu Zheng, Zhao Zhong. 2016. Genetic diversity analysis of wild apricot (*Prunus armeniaca*) populations in the Ili valley as revealed by SRAP markers. Acta Horticulturae Sinica, 43 (10): 1980 - 1988. (in Chinese)
- 李明, 胡霞, 苗兴军, 许正, 赵忠. 2016. 基于 SRAP 标记的伊犁河谷野生杏群体遗传多样性研究. 园艺学报, 43 (10): 1980 - 1988.
- Li Yan-hui, Gao Lian-xiang, Ren Shi-fu, Fu Yun-lin, Yang Feng-lan, Yang Jian-min. 2010. A new apricot cultivar resistance to coldness 'Wei Xuan 1' . Acta Horticulturae Sinica, 37 (1): 155 - 156. (in Chinese)
- 李彦慧, 高连祥, 任士福, 傅云林, 杨凤兰, 杨建民. 2010. 耐寒仁用杏新品种 '围选 1 号'. 园艺学报, 37 (1): 155 - 156.
- Liao Ming-kang, Guo Li-xia, Zhang Ping, Che Feng-bin, Liao Kang. 1994. An observation of Xinjing apricot pollen morphology. Acta Agriculturae Boreall-occidenyalis Sinica, 3 (2): 81 - 86. (in Chinese)
- 廖明康, 郭丽霞, 张平, 车风斌, 廖康. 1994. 新疆杏属植物过氧化物酶儿茶酚氧化酶同工酶分析. 西北农业学报, 3 (2): 81 - 86.
- Liu Juan, Liao Kang, Zhao Shi-rong, Cao Qian, Sun Qi, Liu Huan. 2015. The core collection construction of Xinjiang wild apricot based on ISSR molecular markers. Scientia Agricultura Sinica, 48 (10): 2017 - 2028. (in Chinese)

- 刘娟, 廖康, 赵世荣, 曹倩, 孙琪, 刘欢. 2015. 利用 ISSR 分子标记构建新疆野杏核心种质资源. 中国农业科学, 48 (10): 2017 – 2028.
- Liu Ning, Liu Wei-sheng. 2006. Descriptors and data standard for apricot (*Armeniaca* Mill.) . Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 刘宁, 刘威生. 2006. 杏种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社.
- Liu Ning, Liu Wei-sheng, Yu Xiang-he, Zhao Feng, Zhang Yu-ping, Sun Meng, Xu Ming, Qian Yong-zhong. 2008. Technical code for evaluating resources apricot (*Armeniaca* Mill.) . NY/T 1306-2007. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 刘宁, 刘威生, 郁香荷, 赵锋, 张玉萍, 孙猛, 徐铭, 钱永忠. 2007. 农作物种质资源鉴定技术规程杏. NY/T 1306-2007. 北京: 中国标准出版社.
- Liu Ning, Zhang Jia-yan, He Yue, Liu Wei-sheng. 1999. Some new cultivars of kernel-using apricot. Northern Fruits, (2): 9 – 10. (in Chinese)
- 刘宁, 张加延, 何跃, 刘威生. 1999. 仁用杏新品系选育报告. 北方果树, (2): 9 – 10.
- Liu Ning, Zhang Yu-ping, Liu Wei-sheng, Jiang Yong-wen, Yu Xiang-he, Sun Meng, Xiong Xing-ping, Xu Ming, Zhang Qiu-ping, Wang Hong, Zhang Tong-xi, Zhao Feng. 2011. Evaluating standards for elite and rare germplasm resources apricot (*Prunus* Subgenus. *Armeniaca* Mill.) . NY/T 2028-2011. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 刘宁, 张玉萍, 刘威生, 江用文, 郁香荷, 孙猛, 熊兴平, 徐铭, 章秋平, 王宏, 张同喜, 赵锋. 2011. 农作物优异种质资源评价规范杏. NY/T 2028-2011. 北京: 中国标准出版社.
- Liu Wei-sheng, Feng Chen-jing, Yang Jian-min, Liu Dong-cheng, Zhang Ai-min, Li Shao-hua. 2005. Optimization of ISSR reaction system and construction of cultivar fingerprint in apricot. Journal of Fruit Science, 22 (6): 626 – 629. (in Chinese)
- 刘威生, 冯晨静, 杨建民, 刘冬成, 张爱民, 李绍华. 2005. 杏 ISSR 反应体系的优化和指纹图谱的构建. 果树学报, 22 (6): 626 – 629.
- Liu Wei-sheng. 2008. Eco-phylogenetic relationships among kernel-using apricots and main species of genus *Armeniaca* based on DNA molecular markers[Post-doctoral work report]. Beijing: Ecological Environment Research Center of Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)
- 刘威生. 2008. 基于 DNA 分子标记的仁用杏及杏属主要种间生态系统关系研究[博士后工作报告]. 北京: 中国科学院.
- Liu W S, Liu N, Yu X H, Zhang Y P, Sun M, Xu M. 2010. Apricot germplasm resources and their utilization in China. Acta Horticulturae, 862: 45 – 50.
- Liu W S, Liu N, Yu X H, Zhang Y P, Sun M, Xu M, Zhang Q P, Liu S. 2012b. Kernel-using apricot resources and its utilization. Acta Horticulturae. 966: 189 – 191.
- Liu W S, Liu N, Zhang Y P, Yu X H, Sun M, Xu M, Zhang Q P, Liu S. 2012a. Apricot cultivar evolution and breeding program in China. Acta Horticulturae, 966: 223 – 228.
- Liu Yan-jie, Liu Hai-rong, Qi Feng-lian, Zhang Su-ying. 1999. A new cold-resistant apricot cultivar ‘Muhongxing’ . China Fruits, (3): 10 – 11. (in Chinese)
- 刘延杰, 刘海荣, 齐凤莲, 张素英. 1999. 抗寒杏新品种——‘牡红杏’. 中国果树, (3): 10 – 11.
- Liu You-chun, Chen Wei-zhi, Liu Wei-sheng, Liu Ning, Zhang Yu-ping, Liu Shuo. 2010. Palynological study on the origin and systematic evolution of kernel-using apricots. Acta Horticulturae Sinica, 37 (9): 1377 – 1387. (in Chinese)
- 刘有春, 陈伟之, 刘威生, 刘宁, 张玉萍, 刘硕. 2010. 仁用杏起源演化的孢粉学研究. 园艺学报, 37 (9): 1377 – 1387.
- Liu Yue-xia, Feng Jian-rong, Wang Da-jiang, Fan Xin-min, Jiang Xin. 2011. Identification of self-incompatibility *SFB* genes for apricot cultivars in Xinjiang area. Acta Horticulturae Sinica, 38 (4): 666 – 674. (in Chinese)
- 刘月霞, 冯建荣, 王大江, 樊新民, 姜新. 2011. 新疆主栽杏品种自交不亲和 SFB 基因的检测. 园艺学报, 38 (4): 666 – 674.
- Lu Juan-fang, Zheng Hui-wen, Zheng Qiao, Zhang Qiu-yun, Li Wen-hui, Xi Wan-peng. 2016. Changes in aroma volatiles of Xinjiang apricot fruit during development and ripening and characterization of key aroma components. Acta Horticulturae Sinica, 43 (10): 1878 – 1890. (in Chinese)
- 卢娟芳, 郑惠文, 郑巧, 张秋云, 李文慧, 席万鹏. 2016. 新疆杏果实发育过程中香气物质的变化及其特征成分的确定. 园艺学报, 43 (10): 1878 – 1890.
- Lu L, Gu C, Li C, Alexander C, Bartholomew B, Brach A, Boufford D E, Ikeda H, Ohba H, Robertson K R, Spongberg S A. 2003. Rosaceae//Wu Z Y, Raven P H. Flora of China, Vol. 9. Science Press, Beijing: Missouri Botanical Garden Press, St. Louis: 46 – 434.
- Lü Ying-min, Lü Zeng-ren, Gao Suo-zhu. 1994. Study on the peroxidase isozyme in varieties of apricot. Journal of Hebei Agriculture University, 9

- (4): 69 - 74. (in Chinese)
- 吕英民, 吕增仁, 高锁柱. 1994. 应用同工酶进行杏属植物演化关系和分类的研究. 华北农学报, 9 (4): 69 - 74.
- Lü Zeng-ren, Guo Zheng-huai, Xiao Jian-zhong, Wang Feng-yun. 1986. Karyotype analysis of *Armeniaca sibirica* and *Armeniaca vulgaris*. Journal of Agricultural University of Hebei, 6 (2): 14 - 19. (in Chinese)
- 吕增仁, 郭振怀, 肖健忠, 王凤云. 1986. 山杏和杏的核型分析. 河北农业大学学报, 16 (2): 14 - 19.
- Lü Zeng-ren. 1996. An early ripening apricot variety - 'Jinxing'. Beijing Agriculture, (1): 28. (in Chinese)
- 吕增仁. 1996. 杏特早熟新品种——'金星'. 北京农业, (1): 28.
- Maghuly F, Fernandez E B, Ruthner S, Pedryc A, Laimer M. 2005. Microsatellite variability in apricots (*Prunus armeniaca* L.) reflects their geographic origin and breeding history. Tree Genetics & Genomes, 1: 151 - 165.
- Mu Yun-hui, Zhou Ye, Liu Tong, Zhen Can-fu. 2008. 'Longyuan Tianxing', a new apricot cultivar bred by distant hybridization. Journal of Fruit Science, 25 (3): 442 - 443. (in Chinese)
- 牟蕴慧, 周 野, 刘 通, 甄灿福. 2008. 晚熟鲜食杏新品种——'龙园甜杏'. 果树学报, 25 (3): 442 - 443.
- Pedryc A, Rthner S, Herman R, Krska B, Hegedus A, Halász J. 2009. Genetic diversity of apricot revealed by a set of SSR markers from linkage group G1. Scientia Horticulturae, 121 (1): 19 - 26.
- Pu Fu-shen. 1990. Descriptors of fruits genetic resources - record items and evaluation standards. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 蒲富慎. 1990. 果树种质资源描述符——记载项目及评价标准. 北京: 中国农业出版社.
- Quan Xu. 2010. Systematics of *Persica* and *Armeniaca* [M. D. Dissertation]. Beijing: Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)
- 权 旭. 2010. 蔷薇科桃亚属和杏属植物系统学研究[硕士论文]. 北京: 中国科学院研究生院.
- Sánchez-Pérez R, Martínez-Gómez P, Dicenta F, Egea J, Ruiz D. 2006. Level and transmission of genetic heterozygosity in apricot (*Prunus armeniaca* L.) explored using simple sequence repeat markers. Genetic Resources and Crop Evolution, 53: 763 - 770.
- Shen Xiang, Guo Wei-dong, Wu Yan-min, Li Jia-riu, Zheng Xue-qin. 2000. Identification of apricot (*Armeniaca* spp.) using RAPD analysis, Acta Horticulturae Sinica, 27 (1): 55 - 56. (in Chinese)
- 沈 向, 郭卫东, 吴燕民, 李嘉瑞, 郑学勤. 2000. 杏 43 个品种资源的 RAPD 分类, 园艺学报, 27 (1): 55 - 56.
- Shi Yin-ping. 2002. New earliest apricot cultivars from embryo culture 'Tube Zaozhong 1' and 'Tube Zaohe 1'. Acta Horticulturae Sinica, 29 (4): 392 - 393. (in Chinese)
- 石荫坪. 2002. 特早熟杏新品种 '试管早红 1 号' 和 '试管早荷 1 号'. 园艺学报, 29 (4): 392 - 393.
- Shi Yin-ping. 2003. New earliest apricot six cultivars from embryo culture. Acta Horticulturae Sinica, 30 (2): 245 - 246. (in Chinese)
- 石荫坪. 2003. 特早熟杏新品种. 园艺学报, 30 (2): 245 - 246.
- Soriano J M, Domingo M L, Zuriaga E, Romero C, Badenes M L, Zhebentyayeva T, Abbott A G. 2012. Identification of simple sequence repeat markers tightly linked to *Plum pox virus* resistance in apricot. Molecular Breeding, 30: 1017 - 1026.
- Sun Hao-yuan, Yang Li, Zhang Jun-huan, Jiang Feng-chao, Zhou Hong-yan, Wang Yu-zhu. 2017. Advances in researches on apricot germplasm resources. Nonwood Forest Research, 35 (3): 251 - 258. (in Chinese)
- 孙浩元, 杨 丽, 张俊环, 姜凤超, 周红燕, 王玉柱. 2017. 杏种质资源研究进展. 经济林研究, 35 (3): 251 - 258.
- Sun Meng, Liu Wei-sheng, Liu Ning, Zhang Yu-ping, Zhao Feng, Yu Xiang-he, Xu Ming. 2010. Breeding report of a new apricot cultivar 'Guofeng'. Journal of Fruit Science, 27 (6): 1055 - 1056. (in Chinese)
- 孙 猛, 刘威生, 刘 宁, 张玉萍, 赵 锋, 郁香荷, 徐 铭. 2010. 杏新品种——'国丰'的选育. 果树学报, 27 (6): 1055 - 1056.
- Sun Shan, Wang Shao-min, Gao Hua-jun, Wang Jia-xi. 2003. A new early-ripening apricot cultivar 'Jintaiyang'. Acta Horticulturae Sinica, 30 (5): 633. (in Chinese)
- 孙 山, 王少敏, 高华君, 王家喜. 2003. 早熟杏新品种 '金太阳'. 园艺学报, 30 (5): 633.
- Tang C, Jennings W. 1967. Volatile compound of apricot. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 15: 24 - 28.
- Tian Jian-bao, Chen Qiu-fang, Cheng En-ming, Liu Zhong-hua, Wang Min, Cheng Hui, He Mei-mei. 2007. A new dwarf apricot cultivar 'Jinai'. Acta Horticulturae Sinica, 34 (6): 1591. (in Chinese)
- 田建保, 陈秋芳, 程恩明, 刘中华, 王 敏, 程 慧, 何美美. 2007. 矮化杏新品种 '金矮杏'. 园艺学报, 34 (6): 1591.



- Topp B L, Russell D M, Neumuller M, Dalbo M, Liu W S. 2012. Plum // Badenes M L, Byrne D H. Fruit breeding. Berlin: Springer Science Business: 571 – 621.
- Wang Yan, Xie Hui, Chen Li-ping. 2012. Progress in research on plant graft-induced genetic variation. Hereditas, 33 (6): 585 – 590. (in Chinese)  
王 燕, 谢 辉, 陈利萍. 2012. 植物嫁接诱导的遗传变异机理的研究进展. 遗传, 33 (6): 585 – 590.
- Wang Yu-zhu, Pan Ji-shu, Meng Xin-fa. 1998. A study on palynology of apricot germplasm. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 13 (4): 130 – 135. (in Chinese)  
王玉柱, 潘季淑, 孟新法. 1998. 杏种质孢粉学的研究. 华北农学报, 13 (4): 130 – 135.
- Wang Yu-zhu, Sun Hao-yuan, Yang Li, Zhang Jun-huan, Jiang Feng-chao. 2014. A new fresh and processing apricot cultivar ‘Jingjia 2’. Acta Horticulturae Sinica, 41(4): 799 – 800. (in Chinese)  
王玉柱, 孙浩元, 杨 丽, 张俊环, 姜凤超. 2014. 鲜食加工兼用杏新品种 ‘京佳 2 号’. 园艺学报, 41(4): 799 – 800.
- Wang Yu-zhu, Sun Hao-yuan, Yang Li, Zhang Jun-huan, Jiang Feng-chao, Wen Liang. 2011. A new apricot cultivar ‘Jingzaohong’. Acta Horticulturae Sinica, 38 (5): 1005 – 1006. (in Chinese)  
王玉柱, 孙浩元, 杨 丽, 张俊环, 姜凤超, 温 亮. 2011. 杏新品种 ‘京早红’. 园艺学报, 38 (5): 1005 – 1006.
- Wang Yu-zhu, Sun Hao-yuan, Yang Li, Zhang Kai-chun, Lin Ke. 2006. Study on the phylogenetic relationship among genus *Armeniaca* based on RAPD markers. Chinese Agricultural Science Bulletin, 22 (5): 53 – 56. (in Chinese)  
王玉柱, 孙浩元, 杨 丽, 张开春, 林 柯. 2006. 杏属植物种间亲缘关系的 RAPD 分析. 中国农学通报, 22 (5): 53 – 56.
- Wang Y Z, Zhang J H, Ning N, Yang L. 2011. Construction and evaluation of a primary core collection of apricot germplasm. Scientia Horticulturae, 128: 311 – 319.
- Wu J, Gu C, Zhang S L, Zhang S J, Wu H Q, Heng W. 2009. Identification of *S*-haplotype-specific *S*-RNase and *SFB* alleles in native Chinese apricot (*Prunus armeniaca* L.). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 84 (6): 645 – 652.
- Wu Shu-jing, Chen Xue-sen. 2003. RAPD analysis of apricot cultivars. Journal of Fruit Science, 20 (2): 107 – 111. (in Chinese)  
吴树敬, 陈学森. 2003. 杏品种的 RAPD 分析. 果树学报, 20 (2): 107 – 111.
- Yang H H, Chen X S, Feng B C, Liu H F, Zheng Z. 2004. Creating new germplasm by distant hybridization in stone fruits: II. Embryo rescue and hybrid identification between plum and apricot. Agricultural Sciences in China, 3 (9): 656 – 662.
- Yang Hong-hua, Chen Xue-sen, Feng Bao-chun, Wu Yan. 2007. Assessment of *Prunus armeniaca* limeixing germplasm by RAPD. Journal of Fruit Science, 24 (3): 303 – 307. (in Chinese)  
杨红花, 陈学森, 冯宝春, 吴 燕. 2007. 李梅杏类种质资源的 RAPD 分析. 果树学报, 24 (3): 49 – 53.
- Yang Hui-xia. 2000. Pollen morphology of China apricot [M. D. Dissertation]. Shenyang: Shenyang Agricultural University. (in Chinese)  
杨会侠. 2000. 中国杏属植物花粉形态研究[硕士论文]. 沈阳: 沈阳农业大学.
- Yang Li, Sun Hao-yuan, Zhang Jun-huan, Wang Yu-zhu. 2011. Brief introduction of research progress on the breeding of apricot in China. Northern Horticulture, (12): 170 – 172. (in Chinese)  
杨 丽, 孙浩元, 张俊环, 王玉柱. 2011. 我国杏育种研究进展. 北方园艺, (12): 170 – 172.
- Yu De-jun. 1986. Flora of China, Volume 38 Rosaceae. Beijing: Science Press: 24 – 33. (in Chinese)  
俞德浚. 1986. 中国植物志 (38 卷). 北京: 科学出版社: 24 – 33.
- Yuan Zhao-he, Chen Xue-sen, He Tian-ming, Feng Jian-rong, Feng Tao, Zhang Chun-yu. 2007. Population genetic structure in apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars revealed by fluorescent-AFLP markers in southern Xinjiang, China. Journal of Genetics and Genomics, 34 (11): 1037 – 1047. (in Chinese)  
苑兆和, 陈学森, 何天明, 冯建荣, 冯 涛, 张春雨. 2007. 中国南疆栽培杏群体遗传结构的荧光 AFLP 分析. 遗传学报, 34 (11): 1037 – 1047.
- Yuan Zhao-he, Chen Xue-sen, Zhang Chun-yu, He Tian-ming, Feng Jian-rong, Feng Tao. 2008. Population genetic structure in apricot (*Armeniaca* Mill.) revealed by fluorescent-AFLP markers. Acta Horticulturae Sinica, 35 (3): 319 – 328. (in Chinese)  
苑兆和, 陈学森, 张春雨, 何天明, 冯建荣, 冯 涛. 2008. 普通杏群体遗传结构的荧光 AFLP 分析. 园艺学报, 35 (3): 319 – 328.
- Zeng Ye, Mou Wen-hui, Jin Dian-yi, Liu Guo-hua, Liu Yun-zhong. 1996. A new cold-resistant apricot cultivar ‘Longyuantao’. China Fruits, (4):

27. (in Chinese)
- 曾 烨, 牟蕴慧, 金殿毅, 刘国华, 刘允中. 1996. 抗寒杏新品种 ‘龙园桃杏’ . 中国果树, (4): 27.
- Zeng Ye, Mou Wen-hui, Zhen Can-fu, Liu Yun-zhong. 2001. A new cold-resistant apricot cultivar ‘Longyuanhuang’. China Fruits, (1): 5 - 6. (in Chinese)
- 曾 烨, 牟蕴慧, 甄灿福, 刘允中. 2001. 杏抗寒新品种 ‘龙园黄杏’ . 中国果树, (1): 5 - 6.
- Zhang H H, Liu W S, Fang J B, Chen S, Liu Y C, Wu B H, Li S H. 2014a. Volatiles of apricot cultivars evaluated by head space solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometry. Analytical Letters, 47 (3): 433 - 452.
- Zhang J H, Wang Y Z, Sun H Y, Yang L, Ning N. 2013. Establishment of core collection from apricot germplasm in China. African Journal of Biotechnology, 12 (37): 5577 - 5587.
- Zhang Jia-yan, Lü Mu-nan, Wang Zhi-ming. 1999. Two new species of the genus *Armeniaca* (Rosaceae) . Acta Phytotaxonomica Sinica, 37 (1): 105 - 109. (in Chinese)
- 张加延, 吕亩南, 王志明. 1999. 杏属二新种. 植物分类学报, 37 (1): 105 - 109.
- Zhang Jia-yan, Zhang Zhao. 2003. China fruit-plant monographs, apricot flora. Beijing: China Forestry Press: 17 - 46. (in Chinese)
- 张加延, 张 钊. 2003. 中国果树志 · 杏卷. 北京: 中国林业出版社: 17 - 46.
- Zhang L J, Chen X S, Chen X L, Zhang C Y, Liu X L, Ci X J, Zhang H, Wu C J, Liu C Q. 2008. Identification of self-incompatibility *S*-genotypes of Chinese apricot cultivars. Euphytica, 160: 241 - 248.
- Zhang Li-li, Liu Wei-sheng, Liu You-chun, Liu Ning, Zhang Yu-ping. 2009. Sugar and acid contents in apricot derived from different countries and places of production. Northern Fruits, (9): 4 - 8. (in Chinese)
- 张丽丽, 刘威生, 刘有春, 刘 宁, 张玉萍. 2009. 不同原产地杏种质果实糖酸组分含量特点的研究. 北方果树, (9): 4 - 8.
- Zhang Li-li, Liu Wei-sheng, Liu You-chun, Liu Ning, Zhang Yu-ping. 2010. Measurement of sugars, organic acids in 5 apricot fruits germplasm by high performance liquid chromatography (HPLC) method. Journal of Fruit Science, 27 (1): 119 - 123. (in Chinese)
- 张丽丽, 刘威生, 刘有春, 刘 宁, 张玉萍. 2010. 高效液相色谱法测定 5 个杏品种的糖和酸. 果树学报, 27 (1): 119 - 123.
- Zhang Q P, Liu D C, Liu S, Liu N, Wei X, Zhang A M, Liu W S. 2014b. Genetic diversity and relationships of common apricot (*Prunus armeniaca* L.) in China based on simple sequence repeat (SSR) markers. Genetic Resources and Crop Evolution, 61 (2): 357 - 368.
- Zhang Q P, Liu W S, Liu N, Zhang Y P, Xu M, Liu S, Ma X X, Zhang Y J. 2017. Allelic variation of simple sequence repeats markers linked to PPV resistance in Chinese apricot. Horticultural Science, 44 (1): 6 - 13.
- 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. 2018. The genetic relationship and structure of some natural interspecific hybrids in *Prunus* subgenus *Prunophora*, based on nuclear and chloroplast simple sequence repeats. Genetic Resources and Crop Evolution, 65 (2): 625 - 636.
- Zhang Qiu-ping, Liu Dong-cheng, Liu Wei-sheng, Liu Shuo, Zhang Ai-min, Liu Ning, Zhang Yu-ping. 2013. Genetic diversity and population structure of the North China populations of apricot (*Prunus armeniaca* L.) . China Agriculture Science, 46 (1): 89 - 98. (in Chinese)
- 章秋平, 刘冬成, 刘威生, 刘 硕, 张爱民, 刘 宁, 张玉萍. 2013. 华北生态群普通杏遗传多样性与群体结构分析. 中国农业科学, 46 (1): 89 - 98.
- Zhang Qiu-ping, Liu Wei-sheng, Liu Ning, Zhang Yu-ping, Xu Ming, Liu Shuo. 2015a. Classification of kernel-using germplasm based on morphology in apricot. Journal of Fruit Science, 32 (3): 385 - 392. (in Chinese)
- 章秋平, 刘威生, 刘 宁, 张玉萍, 徐 铭, 刘 硕. 2015a. 基于形态性状的仁用杏种质资源分类研究. 果树学报, 32 (3): 385 - 392.
- Zhang Qiu-ping, Liu Wei-sheng, Liu Ning, Zhang Yu-ping, Yu Xiang-he, Sun Meng, Xu Ming. 2009. Establishment and evaluation of primary core collection of apricot (*Prunus armeniaca* L.) germplasm. Journal of Fruit Science, 26 (6): 819 - 825. (in Chinese)
- 章秋平, 刘威生, 刘 宁, 张玉萍, 郁香荷, 孙 猛, 徐 铭. 2009. 普通杏 (*Prunus armeniaca*) 初级核心种质资源的构建及评价. 果树学报, 26 (6): 819 - 825.
- Zhang Qiu-ping, Liu Wei-sheng, Liu Shuo, Wei Xiao, Liu Ning. 2015b. An estimation of SSR alleles numbers for analyzing genetic diversity of apricot. Journal of Fruit Science, 32 (2): 186 - 191. (in Chinese)
- 章秋平, 刘威生, 刘 硕, 魏 潇, 刘 宁. 2015b. 杏遗传多样性评价所需 SSR 等位变异数目估计. 果树学报, 32 (2): 186 - 191.

- Zhang Qiu-ping, Liu Wei-sheng, Xiong Xing-ping, Liu Ning, Jiang Yong-wen, Wei Xiao, Liu Shuo, Xu Ming, Zhang Yu-ping. 2016. Descriptors for apricot germplasm resources. NY/T 2925-2016. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- 章秋平, 刘威生, 熊兴平, 刘 宁, 江用文, 魏 潇, 刘 硕, 徐 铭, 张玉萍. 2016. 杏种质资源描述规范. NY/T 2925-2016. 北京: 中国标准出版社.
- Zhang Qiu-ping, Wei Xiao, Liu Wei-sheng, Dong Wen-xuan, Liu Ning, Zhang Yu-ping, Xu Ming, Liu Shou, Zhang Yu-jun, Ma Xiao-xue. 2017. Phylogenetic relationships in the subgenus *Prunophora* (Rosaceae) inferred from the chloroplast DNA region, *trnL-F*. Journal of Fruit Science, 34 (10): 1249 – 1257. (in Chinese)
- 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. 2017. 基于叶绿体 DNA 序列 trnL-F 分析李亚属植物的系统发育关系. 果树学报, 34 (10): 1249 – 1257.
- Zhang Shu-qing, Liu Dong-cheng, Liu Wei-sheng, Zhang Ai-min, Li Shao-hua. 2010. Analysis of genetic diversities in apricot cultivars (*Prunus armeniaca* L.) with simple sequence repeat (SSR) markers. Acta Horticulturae Sinica, 37 (1): 23 – 30. (in Chinese)
- 张淑青, 刘冬成, 刘威生, 张爱民, 李绍华. 2010. 通杏品种 SSR 遗传多样性分析. 园艺学报, 37 (1): 23 – 30.
- Zhang Yan-min, He Tian-ming, Feng Jian-rong, Chen Mei-xia, Yuan Zhao-he, Sun Jia-zheng, Zhang Da-hai, Wu Yan, Zhang Li-jie, Chen Xue-sen. 2009. New advances of the apricot resources evaluation, germplasm enhancement and utilization. Acta Horticulturae Sinica, 36 (5): 755 – 762. (in Chinese)
- 张艳敏, 何天明, 冯建荣, 陈美霞, 苑兆和, 孙家正, 张大海, 吴 燕, 张立杰, 陈学森. 2009. 杏种质资源评价、创新与利用新进展. 园艺学报, 36 (5): 755 – 762.
- Zhang Yu-ping, Liu Wei-sheng, Sun Meng, Liu Ning, Zhao Feng, Yu Xiang-he, Xu Ming. 2010. Breeding report of a new apricot cultivar ‘Guoqiang’. Journal of Fruit Science, 27 (3): 473 – 474. (in Chinese)
- 张玉萍, 刘威生, 孙 猛, 刘 宁, 赵 锋, 郁香荷, 徐 铭. 2010. 杏新品种——‘国强’的选育. 果树学报, 27 (3): 473 – 474.
- Zhao Hai-juan, Liu Wei-sheng, Liu Ning, Zhang Yu-ping, Zhang Qiu-ping, Liu Shuo. 2014. Genetic diversity analysis for the quantitative traits of common apricot (*Prunus armeniaca*) germplasm. Journal of Fruit Science, 31 (1): 20 – 29. (in Chinese)
- 赵海娟, 刘威生, 刘 宁, 张玉萍, 章秋平, 刘 硕. 2014. 普通杏 (*Prunus armeniaca*) 种质资源数量性状的遗传多样性分析. 果树学报, 31 (1): 20 – 29.
- Zhao Xi-ping, Chai Ju-hua, Yang Li, Chang Zhen-tian, Lin Yu-yi, Yang Yun. 2002. ‘Jiguang’ – a new table and processing apricot cultivar. Acta Horticulturae Sinica, 29 (2): 189. (in Chinese)
- 赵习平, 柴菊华, 杨 莉, 常振田, 林裕益, 杨 云. 2002. 鲜食加工兼用杏新品种 ‘冀光’. 园艺学报, 29 (2): 189.
- Zhao Xi-ping, Liu Tie-zheng, Ma Wen-hui, Yang Li, Fu Ya-li, Li Chen-quan. 2010. A new early-maturing apricot cultivar ‘Shuoguang’. Acta Horticulturae Sinica, 37 (6): 1021 – 1022. (in Chinese)
- 赵习平, 刘铁铮, 马文会, 杨 莉, 付雅丽, 李辰泉. 2010. 早熟杏新品种 ‘硕光’. 园艺学报, 37 (6): 1021 – 1022.
- Zhao Xi-ping, Liu Tie-zheng, Wu Xiao-hong, Tang Huan-ying, Zhang Xian-cheng, Wang Jing-tao, Ma Wen-hui, Yuan Li-yong. 2015. A new processing apricot cultivar ‘Jinxu’. Acta Horticulturae Sinica, 42 (10): 2091 – 2092. (in Chinese)
- 赵习平, 刘铁铮, 武晓红, 唐焕英, 张宪成, 王景涛, 马文会, 袁立勇. 2015. 杏加工专用新品种 ‘金秀’. 园艺学报, 42 (10): 2091 – 2092.
- Zhebentyayeva T N, Reighard G L, Gorina V M, Abbott A G. 2003. Microsatellite (SSR) analysis for assessment of genetic variability in apricot germplasm. Theor Appl Genet, 106: 435 – 444.
- Zhebentyayeva T, Ledbetter C, Burgos L, Llacer G. 2012. Apriocit/Badenes M L, Byrne D H. Fruit Breeding. Berlin: Springer Science Business, 415 – 458.
- Zhou Wei, Wei Yu-mei, Yang Min, Wang Yi-fan. 2009. Analysis of aroma components in apricot cultivars in Gansu province by solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 27 (8): 40 – 44. (in Chinese)
- 周 围, 魏玉梅, 杨 敏, 王一帆. 2009. 甘肃主栽杏果实品种间香气成分的固相微萃取-气质联用分析. 分析实验室, 27 (8): 40 – 44.