

中国普通杏种质资源若干生物学性状的频度分布

何天明^{1,2}, 陈学森^{1*}, 张大海³, 徐麟³, 刘宁⁴, 高疆生², 许正⁵

(¹ 山东农业大学园艺学院果树生物学实验室, 山东泰安 271018; ² 塔里木大学植物科技学院, 新疆阿拉尔 843300;

³ 新疆农业科学院轮台国家果树资源圃, 新疆轮台 841600; ⁴ 辽宁农业科学院熊岳国家李杏资源圃, 辽宁熊岳 115214;

⁵ 新疆伊犁哈萨克自治州野果林研究与发展中心, 新疆伊犁 835000)

摘要: 对华北、中亚和准噶尔—外伊犁 3 个生态地理群的 520 余份中国杏种质资源部分生物学性状进行了田间试验和野外考察。结果表明: 中国杏三大生态地理群品种、类型或株系自交坐果率平均值均 2.0%, 自交不亲和及部分自交不亲和株率均 >90%, 总体上表现为自交不亲和, 但同时也发现了个别自交结实率高 (9.9% ~ 18.0%) 的自交亲和种质; 3 个生态地理群败育花比率均在 40% 以上, 变异系数均在 50% 以上, 而就某一品种来讲, 其败育花率相对稳定; 油杏性状在中亚生态地理群品种中的频度高达 76.6%, 而其它两个生态地理群皆为毛杏; 相对于伊犁野杏 (平均单果质量 8.2 g) 和中亚品种群 (23.2 g), 大果性状在华北生态地理群中为优势性状 (51.4 g); 三大生态地理群离核的比率均高于粘核比率, 野杏类型的离核频度高达 94.6%, 而华北杏仅为 58.8%; 可溶性固形物含量以中亚杏最高 (18.5%), 而华北杏在华北 (13.1%) 和新疆 (16.1%) 两地有极显著性差异, 说明这一性状是典型的数量性状, 易受环境影响; 伊犁野杏、中亚杏及华北杏甜仁比率分别为 0.9%、93.1% 和 44.4%。对人为选择和自然选择在部分性状的起源与演化中的作用进行了探讨。

关键词: 杏; 生物学性状; 频度; 生态地理群; 进化

中图分类号: S 662.2 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2007) 01-0017-06

Frequency Distribution of Several Biological Characters in Different Apricot Eco-geographical Groups Native to China

HE Tianming^{1,2}, CHEN Xue-sen^{1*}, ZHANG Da-hai³, XU Lin³, LU Ning⁴, GAO Jiang-sheng², and XU Zheng⁵

(¹ Biological Laboratory of Pomology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; ² College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China; ³ Luntai National Germplasm Garden of Fruit Trees, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Luntai, Xinjiang 841600, China; ⁴ National Plum and Apricot Germplasm Garden, Institute of Pomology, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Xiongyue, Liaoning 115214, China; ⁵ Research and Development Center of Wild Fruit Forest of Yili Kazak Autonomous Prefecture, Yili, Xinjiang 835000, China)

Abstract: In order to exploit the evolution of genes of apricot native to China, the frequency distribution of several biological characters of apricot in different eco-geographical groups (North China, Central Asia, Dzhungar - Zailij) native to China were analyzed in the study. In general, self-incompatibility was a common character for the three eco-geographical groups with averages less than 2.0% and the percentages of self-incompatible cultivars more than 90%. Therefore, a few self-compatible germplasm were found, too. Higher sterile flower rate of 40% was observed in all eco-geographical groups with a higher coefficient variance of 50%. For a certain cultivar or form, the trait was relatively stable. Glabrous-fruited cultivars were only observed in Central Asian eco-geographical group with a higher percentage of 76.6%. In other two groups, the

收稿日期: 2006 - 03 - 07; 修回日期: 2006 - 06 - 13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30471196); 教育部高等学校博士学位点专项科研基金项目 (20040434011); 教育部科学研究重点项目 (204178)

*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: chenxs@sdau.edu.cn)

cultivars or forms were all identified as rough skin-fruit. The largest fruit size (with an average of 51.4 g) was a predominant trait in North China group compared with those of Central Asian group (23.2 g) and Dzhungar - Zailij group (8.2 g). In the three groups, the rate of freestone-fruited cultivars or forms was remarkably higher than those of clingstone. The frequencies of freestone were different among the groups with the highest frequency of 94.6% in Dzhungar - Zailij group and the lowest frequency of 58.8% in North China group. The highest value of the total soluble solid was measured in Central Asia group (18.5%). The total soluble solid was greatly affected by environmental factors indicating it was a classical quantitative trait. For cultivars from North China, the values measured from Shandong (13.1%) and Xinjiang (16.1%) were different very significantly ($F=42.361$, $P<0.01$). The highest rate of sweet kernel (93.1%) was observed in the Central Asian eco-geographical group compared to Ili wild population (0.9%) and North China group (44.4%). The effect of artificial selection and natural selection on the origin and evolution of the characters was also discussed.

Key words: Apricot; *Prunus amniaca*; Biological character; Frequency analysis; Eco-geographical group; Evolution

伊犁野杏 (*Amniaca vulgaris*) 被认为是全世界栽培杏的原生起源种群, 曾对世界栽培杏的驯化起过决定性的作用 (Zhebentyayeva et al, 2003)。在长期的人为驯化和生态适应过程中, 栽培杏在亚欧大陆各地迥异的地理气候条件下形成了不同的生态地理群 (Kostina, 1964; Layne et al, 1996), 如新疆南部的环塔里木盆地各绿洲地带的品种群为中亚生态群的重要组成部分。作为最古老的栽培杏生态群, 中亚生态群遗传多样性极为丰富, 在杏演化历史中这一生态群向西衍生出伊朗—外高加索、欧洲生态群 (Layne et al, 1996), 向东也渗入到华北杏生态种群质中 (沈向等, 2000)。华北杏生态群作为中国杏种质资源的另一重要组成部分, 主要分布于中国的黄河流域, 与其它生态群相比, 其遗传组成、进化演化历史尚不明朗 (陈学森等, 2001)。为全面了解中国杏种质遗传多样性水平和基因进化、演化的历史, 作者于 2003~2005 年对中国准噶尔—外伊犁 (伊犁野杏林)、中亚和华北的三大生态地理种群质资源进行了考察, 对其主要的授粉生物学性状和果实性状进行了测定, 在此基础上, 对部分性状的进化方式和演化历史以及人工选择与自然选择在进化过程中的作用进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验及田间调查于 2003~2005 年分别在山东农业大学横岭育种基地、辽宁农业科学院熊岳国家李杏资源圃、新疆农业科学院轮台国家果树资源圃、新疆伊犁哈萨克自治州天山野果林研究与发展中心和山东农业大学果树生物学实验室进行。野外考察主要在新疆伊犁霍城县大西沟乡、巩留县莫合乡、新源县阿勒马勒乡完成。试材包括准噶尔—外伊犁生态地理群的伊犁野杏林 (新源、霍城和巩留 3 个居群) 实生株系约 300 个、华北生态品种群的品种 120 个以及中亚生态品种群 (新疆的喀什、和田及库车 3 个亚群) 的品种 (类型) 100 个。所有试材均生长健壮, 结果正常。

1.2 测定方法

自交结实率的测定: 花前 1 周选供试植株不同方位的两花枝, 对其上花芽挂牌计数, 然后卷套一层报纸, 外加一层纱网。盛花期人工自花授粉 (同品种内授粉) 2~3 次, 完全落花后去除纱网和纸袋, 授粉 4 周后统计坐果数, 计算自花结实率。按照 Audergon 等 (1999) 的标准, 坐果率大于 5% 为自交亲和类型 (SC), 等于 0 为完全自交不亲和类型 (SI), 小于 5% 为部分自交亲和类型 (PSC)。

败育花率的调查: 在花期随机对供试品种、类型或株系选不同方位采花 100~200 朵, 雌蕊低于雄蕊的视为败育花, 根据败育花数/总花数计算败育花率。

参考蒲富慎 (1990) 的标准和方法调查单果质量、可溶性固形物含量、果实表面具茸毛 (毛杏) / 无毛 (油杏)、甜仁 / 苦仁、离核 / 粘核等果实性状, 其中数量性状调查重复两年。

以测定的平均值为基本数据, 进一步计算各生态地理群每个性状的平均值 (M)、标准差 (SD) 和变异系数 (CV), 进行性状频度分析, 探讨性状演化关系。

2 结果与分析

2.1 开花授粉生物学特性

2.1.1 自交结实率 伊犁野杏林以及华北与中亚生态品种群 (新疆喀什、和田及库车) 125 个品种 (类型) 自交结实率检测结果见表 1。由表 1 可知, 中国杏三大生态地理群品种类型或株系自交坐果率平均值均 2.0%, 自交不亲和及部分自交不亲和株率均 >90%, 在总体上表现为自交不亲和;

发现了个别自交结实率高的自交亲和种质, 如在新疆杏中发现的 ‘米录’ (9.9%)、在华北杏中发现的 ‘甜仁杏’ (14.4%) 以及在伊犁野杏中发现的 ‘新源 23 号’ (18.0%) 等, 这些优异种质的发现为进一步研究中国杏的自交亲和性提供了宝贵试材, 又为中国杏的自交亲和育种提供了新种质;

自交结实率在各生态群中的变异系数均在 200% 以上, 其中中亚品种群高达 280%, 说明进一步进行试验选择的潜力很大。

表 1 中国杏不同生态地理群的自交结实率

Table 1 Self-pollinated fruiting rate in different apricot eco-geographical groups native to China (%)

| 生态地理群 (调查品种数) Eco-geographical group (Cultivar number) | 值域 Range | $M \pm SD$ | CV | 不亲和株率 (数量) Incompatibility rate (number) | 部分不亲和株率 (数量) Partial incompatibility rate (number) | 亲和株率 (数量) Compatibility rate (number) |
|--|-------------|---------------|------|--|--|---|
| 华北 North China (36) | 0.0 ~ 14.4 | 2.0 \pm 4.1 | 205 | 58.3 (21) | 38.9 (14) | 2.8 (1) |
| 中亚 Central Asia (57) | 0.0 ~ 9.9 | 0.5 \pm 1.4 | 280 | 77.1 (44) | 21.1 (12) | 1.8 (1) |
| 准噶尔—外伊犁 Dzhungar - Zailij (32) | 0.0 ~ 18.0 | 1.5 \pm 3.6 | 240 | 65.6 (21) | 25.0 (8) | 9.4 (3) |

2.1.2 败育花率 122 个品种 (类型) 败育花率调查结果见表 2。从表 2 可以看出, 供试的三个生态地理群败育花率及其变异趋势基本一致: 败育花率均在 40% 以上, 变异系数均在 50% 以上。而就某一品种来讲, 其败育花率是一个相对稳定的性状, 这为从中选育一些低败育花率的品种提供了可能, 如在新疆栽培杏中发现的 ‘曼头玉吕克’、‘莎车洪待克’、‘阿克托永’、‘皮乃孜’、‘牙合里克玉吕克’、‘洪待克’、‘阿克亚格勒克’等诸多的优良品种。

2.2 果实性状

2.2.1 毛杏 / 油杏 象桃的类似性状一样, 杏果实表面光洁无毛者称为油杏, 在一些地方又叫李光杏, 而果面外被茸毛者为毛杏。如表 3 所示, 这对相对性状在中国杏各生态地理群中的表现比较简单: 油杏性状仅出现在中亚生态地理群的品种类型中, 其频度高达 76.6%, 而其它两个生态

表 2 中国杏不同生态地理群的败育花率

Table 2 Sterile flower rate in different apricot eco-geographical groups native to China (%)

| 生态地理群 (调查品种数) Eco-geographical group (Cultivar number) | 值域 Range | $M \pm SD$ | CV |
|--|-------------|-----------------|------|
| 华北 North China (32) | 10.0 ~ 93.0 | 45.1 \pm 22.6 | 50.1 |
| 中亚 Central Asia (57) | 0.0 ~ 85.0 | 44.0 \pm 22.2 | 50.5 |
| 准噶尔—外伊犁 Dzhungar - Zailij (33) | 0.0 ~ 99.1 | 41.4 \pm 27.1 | 65.5 |

表 3 中国杏不同生态地理群毛杏 / 油杏性状的频度统计

Table 3 Percentages of roughskin-fruited forms and glabrous-fruited forms in different apricot eco-geographical groups native to China

| 生态地理群 (调查品种数) Eco-geographical group (Cultivar number) | 毛杏 Roughskin-fruit | | 油杏 Glabrous fruit | |
|--|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | 品种数 Number | 比率 (%) Rate (%) | 品种数 Number | 比率 (%) Rate (%) |
| 华北 North China (50) | 50 | 100.0 | 0 | 0.0 |
| 中亚 Central Asia (77) | 18 | 24.3 | 59 | 76.6 |
| 准噶尔—外伊犁 Dzhungar - Zailij (342) | 342 | 100.0 | 0 | 0.0 |

地理群为毛杏。

2.2.2 单果质量 从表 4可以看出,单果质量这一性状在中国杏不同生态地理群间存在显著差异:华北生态地理群单果质量最大,平均达 51.4 g,其最大者‘华县大接杏’高达 103.1 g,而以新疆杏为代表的中亚生态地理群平均只有 23.2 g,不及华北杏的一半,即使单果质量最大的品种‘赛来克达拉孜’(44.8 g),也小于华北杏品种群的平均单果质量。而以伊犁野杏为代表的准噶尔—外伊犁生态地理群各居群平均单果质量只有

4.8~8.9 g,生态群均值仅为 8.2 g,最大也只有 15.6 g,表现出典型的野生性状。中国杏各生态地理群果实大小上的差异,与长期人为选择和生态适应关系密切。中亚地区干旱的气候特征可能是诱导植物器官小型化的主要原因,因为在调查中也发现这种生态效应同样反映在杏树叶片大小上。

2.2.3 可溶性固形物含量 从表 5可以看出,以新疆杏为代表的中亚生态地理群品种可溶性固形物含量最高,平均值为 18.5%,从中发现了个别可溶性固形物含量极高的优异种质,如‘阿克西米西’(25.8%)和‘赛买提’(21.3%),并且年度重复性很好。在新疆轮台对华北杏这一性状测得的数据为 16.1%,在山东泰安测得的数据为 13.1%,比新疆测定值低了 3个百分点。从《中国果树志·杏卷》登载的品种中随机挑选了 56个华北杏品种(张加延和张钊,2003),对其可溶性固形物含量进行了分析。这些品种的可溶性固形物含量指标大多是在辽宁熊岳和其它华北地区采集的,其平均值只有 12.4%,印证了我们在山东泰安的测定结果。对华北杏在新疆和山东两地可溶性固形物含量数据进行显著性检验,同为华北杏品种,两地数据存在极显著差异($F=42.361, P<0.01$)。

伊犁野生类型的可溶性固形物含量平均为 14.6%,居于两个栽培生态地理群之间,但也不乏个别极高的类型,如‘新源 36号’的可溶性固形物含量高达 23.2%。

表 5 中国杏不同生态地理群的果肉可溶性固形物含量

Table 5 Total soluble solid content of apricot fruit from different eco-geographical groups native to China

| 生态地理群(品种数) | 值域 | $M \pm SD$ | CV | 地点 |
|--|-----------|------------------|------|-----------------------|
| Eco-geographical group (Cultivar number) | Range(g) | (g) | (%) | Location |
| 华北 North China (60) | 9.1~16.9 | 13.1 \pm 2.0 | 15.1 | 山东泰安 Tai'an, Shandong |
| 华北 North China (25) | 12.4~19.4 | 16.1 \pm 2.0** | 12.4 | 新疆轮台 Luntai, Xinjiang |
| 中亚 Central Asia (118) | 9.3~25.8 | 18.5 \pm 3.4 | 18.4 | |
| 准噶尔—外伊犁 Dzhungar - Zailij(45) | 7.4~23.2 | 14.6 \pm 3.0 | 20.5 | |

注: **表示华北生态地理品种群在山东泰安和新疆轮台测定值的极显著差异, $P<0.01$ 。

Note: ** indicate the most significant difference of total soluble solid content measured in Tai'an, Shandong and Luntai, Xinjiang, $P<0.01$.

2.2.4 离核 粘核 从表 6可以看出,在中国杏三大生态地理群中,离核的比率均高于粘核比率。不同生态地理群中离核频度存在明显差异:其中在栽培杏类型中,新疆杏的离核率(81.5%)高出华北杏(58.8%)23个百分点,而野杏类型的离核优势更为明显,平均为 94.6%。杏的这对性状与桃的离核与粘核是否受同一对等位基因控制而存在一种共起源关系,是值得进一步深入研究的课题。

表 4 中国杏不同生态地理群的单果质量

Table 4 Average fruit mass in different apricot eco-geographical groups native to China

| 生态地理群(调查品种数) | 值域 | $M \pm SD$ | CV |
|--|------------|-----------------|------|
| Eco-geographical group (Cultivar number) | Range(g) | (g) | (%) |
| 华北 North China (77) | 14.6~103.1 | 51.4 \pm 20.6 | 40.1 |
| 中亚 Central Asia (98) | 9.6~44.8 | 23.2 \pm 9.0 | 38.6 |
| 准噶尔—外伊犁 Dzhungar - Zailij(79) | 2.8~15.6 | 8.2 \pm 2.3 | 25.8 |

表 6 中国不同生态地理群杏离核/粘核性状的频度统计

Table 6 Frequency distribution of freestone and clingstone cultivars in different apricot eco-geographical groups native to China

| 生态地理群(调查品种数) | 离核 Freestone | | 粘核 Clingstone | |
|--|--------------|----------|---------------|----------|
| | 品种数 | 比率 | 品种数 | 比率 |
| Eco-geographical group (Cultivar number) | Number | Rate (%) | Number | Rate (%) |
| 华北 North China (71) | 30 | 58.8 | 21 | 41.2 |
| 中亚 Central Asia (65) | 53 | 81.5 | 12 | 18.5 |
| 准噶尔—外伊犁 Dzhungar - Zailij(147) | 139 | 94.6 | 8 | 5.4 |

2.2.5 甜仁/苦仁 从表7可以看出,甜仁性状在中国杏各生态地理群中的比率存在明显差异。在两个供试的栽培杏生态地理群中,中亚杏的甜仁比例为93.1%,高出华北杏(44.4%)48.7%。而在伊犁野生类型中,苦仁性状占绝对优势,在调查的332株野生单株中,只发现了3株甜仁类型,并且只出现在霍城居群中,甜仁比率在整个野生杏生态地理群中不足1%(0.9%),远远低于甜仁在栽培杏中的比例。

表7 中国不同生态地理群杏甜仁/苦仁性状的频度统计

Table 7 Frequency distribution of sweet kernel and bitter kernel in different apricot eco-geographical groups native to China

| 生态地理群(调查品种数) Eco-geographical group (Cultivar number) | 甜仁 Sweet kernel | | 苦仁 Bitter kernel | |
|---|-----------------|----------------|------------------|----------------|
| | 品种数 Number | 比率 Rate (%) | 品种数 Number | 比率 Rate (%) |
| 华北 North China (72) | 32 | 44.4 | 40 | 55.6 |
| 中亚 Central Asia (116) | 108 | 93.1 | 8 | 6.9 |
| 准噶尔—外伊犁 Dzhungar - Zailij (332) | 3 | 0.9 | 329 | 99.1 |

3 讨论

3.1 关于杏自交亲和性的演化

自交常导致纯合基因型的产生,这种纯合性对植物生命力与生育力的影响即自交衰退常使自交类群比相近的异交类群更趋向于具有更短的生命进化周期(Schoen et al, 1997)。因此,从植物性状进化的角度讲,杏自交不亲和性是自然选择的结果,因其更有利于保持种群种质的杂合度而防止种群因种质遗传多样性单一、适合度下降而发生退化(Silvertown & Charlesworth, 1988)。在本研究中,自交不亲和性在古老的中国杏各生态地理群中的高频分布与自交亲和比率较高的欧洲杏形成了鲜明对比(Paunovic, 1988)。欧洲杏作为杏进化历程中一个最年轻的生态群(Homaza, 2002),正如其本身是人为引种的结果一样,其自交亲和性更多反映出人为选择的烙印。中亚杏种质人为引种到欧洲而产生的长距离扩散使其天然的交配对象密度大大降低,而且在南欧地中海气候模式下,花期阴湿的天气不利于昆虫传粉。因此,在这种生境下,自交成为保障其有性繁殖得以成功的有效途径。在这个意义上讲,生存压力产生的这种局部适应也是导致欧洲生态地理群自交亲和比率较高的另一重要原因。所以长期以来,自交亲和成为欧洲杏育种的首选目标,因为欧洲育种家普遍认为自交不亲和的杏品种因其产量难以保证而无商业栽培前途(Burgos et al, 1997)。正如我们的研究结果所显示的,杏和其它自交不亲和的植物种群一样,其伊犁野杏林以及华北与中亚生态种群等原始种群均含有少量自交亲和的个体,这是通过人为选择成功培育自交亲和品种的遗传基础。

从栽培角度讲,自交不亲和性是制约中国杏育种和生产的一大障碍。因此,对自交不亲和性的遗传及分子机理深入研究,是自交亲和性调控及自交亲和品种选育的重要基础(陈学森等, 2001)。吴燕等(2005)的研究发现,具有相同s基因型的F₁代个体,其自交亲和强度(自交坐果率)存在明显差异,表明自交亲和性不仅与s基因及s基因型有关,还可能受修饰基因等其它遗传因素的调控。我们在伊犁新源野外考察时,在一个不到50 m²的样方内,发现了自交结实率为18%、7.5%、6.9%、1.4%和0的单株,造成这种变异的分子机理还有待进一步研究。

3.2 关于中国杏不同生态地理群部分果实性状的变异与演化

在野杏性状调查中,我们没有发现油杏类型。那么,包括新疆喀什、和田及库车3个亚群在内的中亚生态地理品种群的油杏频度高达76.6%的油杏基因是如何起源的?由于果面无毛相关基因广泛存在于李属植物的李和桃等近缘种中,由此,我们初步认为栽培杏的油杏基因的起源,很有可能与杏和李属植物其它近缘种的天然杂交有关。在中亚杏生态群中油杏性状是一个优势性状,为什么在长期的基因进化演化过程中,油杏基因没有渗入到华北杏的种质结构中?我们在甘肃敦煌发现了‘李光杏’的分布,且在果实熟期等性状上变异类型频多,当地相传这一种质来自新疆和田。另外,当地还有一种名叫‘五月黄’的毛杏,早熟,果实外观为典型的华北杏特征。从历史上看,在古代丝绸之路上敦煌是一个东西文化重要的交汇地,随着商旅来往,这种基因的交流是可能的,但这种无意识的种质交流对于漫长的杏进

化历史而言又是有限的,因此也就不难理解为何在华北杏中鲜有油杏的分布。

本研究结果表明,苦仁性状频率在杏野生种群中占绝对优势(99.1%),而甜仁性状在中亚和西北栽培杏中的比率分别为93.1%和44.4%,这种甜仁性状在栽培杏的高频表现可能是人们长期定向选择的结果。从性状起源来看,甜仁性状在野生种群中有不足1%的分布频率,表明甜仁基因有可能来自苦仁基因的点突变,这一推论有待从分子水平上进一步研究确认。

仁用杏是一个栽培学概念,在分类地位上,它是杏亚属植物的一个类型。吕英民等(1994)根据同工酶谱带,结合其植物学性状介于普通杏与西伯利亚杏之间的特征认为,仁用杏系普通杏和西伯利亚杏的种间杂种。我们结合伊犁野杏果肉含水量低、果肉组织发育不完全、出仁率高等特性,认为在杏进化历程中,仁用杏是一个相对比较原始的类型,其起源应该是多元的,除种间自然杂交这一途径之外,也不排除直接起源于野杏的可能。

References

- Audergon J M, Guerriero R, Monteleone P, Viti R. 1999. Contribution to the study of inheritance of the character self incompatibility in apricot. *Acta Horticulturae*, 488: 275 - 279.
- Burgos L, Egea J, Guerriero R, Viti R, Monteleone P, Audergon J M. 1997. The self-compatibility trait of the main apricot cultivars and new selections from breeding programmes. *J. Hort. Sci.*, 72: 147 - 154.
- Chen Xue-sen, Li Xian-li, Zhang Yan-min, Wu Shu-jing, Shen Hong-bo, Shu Huai-ru. 2001. Advances in apricot germplasm resources evolution 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. 2001. 杏种质资源评价及遗传育种研究进展. *果树学报*, 18 (3): 178 - 181.
- Homaza J I. 2002. Molecular characterization and similarity relationships among apricot (*Prunus ameniaca* L.) genotypes using simple sequence repeats. *Theor. Appl. Genet.*, 104: 321 - 328.
- Kostina K F. 1964. Application of phytogeographical method to apricot classification. *Moscow: Trud Nikit Bot Sad* 37: 45 - 63.
- Layne R E C, Bailey C H, Hough L F. 1996. Apricot. In: Janick J, Moore J N. ed. *Fruit breeding volume 1: tree and tropical fruits*. New York: John Wiley and Sons: 79 - 111.
- L ÜYing-min, L ÜZeng-ren, Gao Suo-zhu. 1994. A study on the evolution relationship and classification of apricot via peroxidase isozyme zymograms analysis. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 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.
- Paunovic S A. 1988. Apricot germplasm, breeding, selecting, cultivars, rootstock and environmental. *Acta Horticulturae*, 209: 13 - 28.
- Pu Fu-shen. 1990. Descriptive symbols, recording items and evaluation standards for fruit germplasm resources. Beijing: Agriculture Press: 92 - 105. (in Chinese)
- 蒲富慎. 1990. 果树种质资源描绘符、记载项目及评价标准. 北京: 农业出版社: 92 - 105.
- Schoen D J, Morgan M T, Bataillon T. 1997. How does self-pollination evolve? Inference from floral ecology and molecular genetic variation. In: Silvertown J, Franco M, Harper J L. ed. *Plant life histories*. Cambridge: CUP: 102 - 108.
- Shen Xiang, Guo Wei-dong, Wu Yan-min, Li Jia-ru, Zheng Xue-qin. 2000. Identification of apricot (*Ameniaca* 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.
- Silvertown J, Charlesworth D. 1988. *Introduction to plant population biology*. Fourth Edition. Oxford: Blackwell Publishing: 205 - 219.
- Wu Yan, Chen Xue-sen, Feng Jian-jiong, Chen Xiao-liu. 2005. Inheritance of *S*-gene among the F_1 progenies in apricot. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (3): 397 - 402. (in Chinese)
- 吴 燕, 陈学森, 冯建荣, 陈晓流. 2005. 杏杂种一代群体 *S*-基因的遗传研究. *园艺学报*, 32 (3): 397 - 402.
- Zhang Jia-yan, Zhang Zhao. 2003. *Chinese fruit tree apricot*. Beijing: China Forestry Publishing House: 93 - 559. (in Chinese)
- 张加延, 张 钊. 2003. 中国果树志·杏卷. 北京: 中国林业出版社: 93 - 559.
- Zhebentyayeva T N, Reighard G L, Gorina V M, Abbott A G. 2003. Simple sequence repeat (SSR) analysis for assessment of genetic variability in apricot germplasm. *Theor. Appl. Genet.*, 106: 435 - 444.