

杏树营养与生殖生物学研究进展^{*}

郑 洲, 陈学森^{*}, 李玉晖

(山东农业大学园艺学院, 泰安 271018)

摘 要: 综述了近 10 年来杏树营养及生殖生物学最新研究进展, 主要介绍了杏树的光合习性, 碳素营养特点, 矿质营养特性, 花芽分化, 开花期与花期冻害, 花器官败育, 授粉与受精及自交不亲和的形态学、遗传学与分子生物学, 并讨论了今后的研究方向。

关键词: 杏; 营养生物学; 生殖生物学

中图分类号: S601 文献标识码: A 文章编号: 1004-1389(2003)01-0084-06

Recent Advance in Researches of the Nutrition and Reproductive Biology of Apricot

ZHENG Zhou, CHEN Xue-sen^{*}, LI Yu-hui

(College of Horticulture, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018, China)

Abstract This paper reviewed research advance of the nutritional and reproductive biology of apricot in recent 10 years. Photosynthesis character, carbohydrate and mineral nutrition traits, differentiation of flower buds, flowering date and freezing injury in flowering period, flower organ abortion, pollination and fertilization, and morphology, genetics and molecular biology about self-incompatibility of apricot are mainly introduced, and the prospects in future are briefly discussed.

Key words Apricot; Nutritional Biology; Reproductive biology

杏果宜加工, 可生食, 营养保健价值高。从国内外市场看, 杏果及其加工品十分畅销, 供不应求。杏树抗干旱, 耐瘠薄, 是山区绿化及生态农业建设的理想树种, 具有良好的生态效益。因此, 杏树的发展受到普遍重视, 不仅在近几年农村种植业结构调整中发挥了重要作用, 而且是我国新疆及三北生态经济防护林建设的首选树种之一, 栽培面积不断扩大, 与此同时, 国内外有关杏树的研究报道也日渐增多。陈学森等^[1]曾对杏树的起源、演化与分布, 种质资源评价及遗传育种研究进展情况进行了综述报道, 本文则对近 10 a 来杏树营养及生殖生物学等方面的最新研究进展进行综述, 旨在为杏树生产和科研提供依据和参考。

1 杏树营养生物学

花器官败育(雌蕊发育不良或称退化花)是杏幼树早期丰产的最重要的限制因素之一。退化花的比率既受遗传控制, 更与营养状况密切相关。因此, 研究杏树的营养生物学, 对杏幼树早期丰产具有重要意义。

1.1 杏树的光合习性 张国良等^[2]采用红外线 CO₂ 气体分析仪对骆驼黄杏幼树光合特性进行了测定分析, 结果表明, 骆驼黄杏的光饱和点 1 500 ~ 1 700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 光补偿点 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 说明杏是喜光树种。净光合速率的日变化呈双峰曲线, 最大值出现在 9 30, 次峰值出现在 17 00, “午休”现象明显。净光合速率的年周期变化呈双峰曲

^{*} 收稿日期: 2002-01-28

基金项目: 山东省科委三 0 工程项目及山东农业大学博士后基金资助项目。

作者简介: 郑 洲 (1978-), 男, 山东农业大学在读硕士生, 主要从事果树遗传育种研究。电话: (0538) 8249338

^{*} 为通讯作者: E-mail: chenxs@sdau.edu.cn

线,最高峰出现在 6月 24日,净光合速率(以 CO_2 计) $25.7 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s}$,次高峰出现在 9月 5日,峰值明显低于第一次。6月份和 9月上旬是骆驼黄光合作用最旺盛的时期,在杏树生产中加强对这两个时期的栽培管理,对提高杏的光合速率,延迟叶片衰老,增强后期的光合作用,提高花芽的分化质量,减少退化花比率,提早结果和丰产等都具有十分重要的意义。杏树的光合习性还受砧木、地理位置等因素的影响。Rosati等^[3]发现嫁接在 *Mari-anna* 上的杏树最大光合速率比嫁接在 *Citation* 上的高 25% ~ 30%。光合受地理位置的影响比受土壤影响更重要^[4]。当叶子发育完全时(LAI 4.7),35%的叶子被遮住,光合光流量密度(PPFD)的利用率低于 20%^[5]。因此,对杏树进行良好的整形,可以增加截光量,有效地提高水分和矿质利用率。

1.2 碳素营养特点 光对杏树的碳素营养有重要影响。杏树遮荫部位的叶片在收获时碳素形成的日平衡(24 h)为负值,对树体的能量平衡没有贡献,遮荫叶片对植物来说不是源,而是库^[5]。在短枝发育和强光辐射水平下,花芽有较高的碳水同化物贮备^[6]。在采收前期,直接接受光辐射的果实比遮荫处的果实的可溶性固形物高^[7]。在意大利,枝条、短果枝和长果枝生长是从 4月到 7月,遮荫枝叶较少,并且单位长度重低于暴露枝。暴露枝含有较多的可溶性碳水化合物和淀粉,两种枝的组分在生长季结束时含量最高,在生长季开始时含量最低。因此,枝条暴露于光下越多,树冠产生的储备物质越多^[8]。

对梅(*Armeniaca mume* Sied)研究发现,采果后叶和短枝的氨基酸含量与产量呈正相关,但在 1月份,枝内糖的含量与产量呈负相关^[9]。短果枝的氨基酸、糖和淀粉的含量比长果枝或徒长枝的含量高,老树高产结果枝的氨基酸含量比幼树和成树高,蔗糖和淀粉的含量也随树龄的增加而增加,这说明果实产量与果枝的氨基酸、糖和淀粉的含量呈正相关^[10]。枝条内淀粉和糖的年周期变化研究,揭示了树体有机营养的消长规律,即 2月下旬至 4月中旬淀粉和糖的含量都较休眠期有明显的增加,是贮藏营养的消耗期;4月中旬至 7月上旬淀粉含量降低而糖增高,是营养生长和生殖生长双重消耗的体现,是为当年营养消耗期;而 7月至 10月淀粉和糖增加至最大值,为营养积累期。营养供需动态的查明为科学施肥与管理提供依据。

1.3 矿质营养特性 杏树矿质营养的含量具有遗传特异性^[11]。叶片矿质营养的含量既随着砧木的不同而不同,也因冠形而发生变化,但在不同砧木上嫁接品种叶片的矿质元素组成范围是确定的^[11,12]。在秋季,除 Ca外,所有大量元素,从叶和枝条向树干回流,Ca大量元素和微量元素在叶和枝条的含量较少^[11]。大量元素的动态和平均水平变化受砧木和年份的影响。叶中 N和 K的含量在生长季开始时最高,而 P、Ca、Mg的含量在生长季末期含量最高。在生长季开始时 Cu、Zn、B的含量最高,在生长季结束时 Fe、Mg含量最高。Mg的含量主要受砧木的影响,而其余微量元素所受影响是随机的^[12]。N增加了叶内 N、Ca、Mg、Fe含量,但降低了叶内 P和 K的含量。P使叶内 P含量增加,使 N含量降低,对 K、Ca、Mg、Fe、Zn和 Mn没有影响。微量元素增加了叶内 N、Ca、Fe、Mg和 Mn的含量,但对 P和 K的含量无影响^[13]。

N素对杏树的矿质营养有重要的影响。当 N素缺乏时,即使在其它大量元素含量足够的情况下,也会引起 N/P、N/K和 N/Mg不平衡,进而导致许多生理紊乱^[12]。增加杏树的施 N量会使树势增强,但抗寒性降低;然而氮素缺乏会导致坏死斑的出现。施 N量的增加导致叶细胞增大,气孔数量和大小增加,以及蒸腾量的增加。在春季或八月初分别施以不同剂量的 P、K和 N肥,可以提高树皮、形成层和形成层区细胞的抗寒性,诱导花芽分化,从总体水平上提高树的抗寒性^[14]。了解杏树的矿质营养特性,以便为全面掌握杏树营养水平,为杏树进行营养诊断、科学施肥与管理提供生理学依据。

2 生殖生物学

2.1 花芽分化 开花期与花期冻害 杏花芽分化可区分为未分化期、花蕾分化期、花萼分化期、花瓣分化期、雄蕊分化期和雌蕊分化期等 6个时期。在兰州地区杏花芽生理分化始于 6月中下旬,7月上旬为高峰期,可延续到 8月下旬。萼片分化、花瓣分化分别在 7月下旬和 8月中下旬,此后分化过程加快,8月下旬雄蕊和雌蕊同步起动,但雄蕊发育较快,至 9月下旬所有花芽进入雌蕊发育阶段^[15]。这样,一个杏花芽从开始分化至雌蕊分化时期大体需要二个月到二个半月,而开始分化较晚的花芽尚不足一月。

落叶果树的开花期,主要受两个因子的控制。

一是需冷量,二是春季的热量累加。一般是通过计算破眠所需的冷温单位(Chilling Units, CU)和到开花期所需的生长时度(Growing Degree Hours, GDH)来预测花期。这两个值之间呈负相关:较多的热量可以部分的补偿需冷量^[16]。随着温度的增加,开花提早,花期变短^[17]。据观察,在不同年份杏的初花期有很大差异,最大差异超过一个月。花期的长度与初花期和温度均呈负相关,高温促进开花。Szalay L等^[18]根据花期将所观察品种分为三类,早花品种、中花品种和晚花品种。选育晚花品种可减少早春晚霜冻害的机会,对杏树生产具有重要意义^[19],目前已选育出红丰及新世纪等早熟晚花新品种^[20, 21]。

杏开花比较早,容易受春寒冻害,造成大量减产。杏花芽的抗冻性一方面与品种有关,不同品种抗冻能力差异很大,另一方面又受树体营养成分等因素的影响。Bolat等^[22]研究结果表明,杏花芽抗冻性与蔗糖含量成正相关,而与淀粉呈负相关。花芽的抗冻性也受冬天温度的影响,当减数分裂开始,花芽就失去其抗冻性^[23]。杏的抗寒性与开花日期没有相关性,盛花期的耐寒性与早开花呈较弱的负相关^[24]。王飞等^[25]研究红扁杏表明:花不同时期抗寒性的强弱为蕾期>盛花期>幼果期。花蕾的抗寒温度在 $-7.0\sim-10.9^{\circ}\text{C}$,盛开花抗寒温度在 $-3.0\sim-6.9^{\circ}\text{C}$,临界半致死温度为 -5.5°C 。出现这种情况说明花本身的抗寒性可能与它的发育进程有关,发育停止愈迟,抗寒能力愈差。同一朵花不同组分的抗寒性大小为花瓣>雄蕊>雌蕊。雌蕊是花器官受冻的最敏感部位,一旦雌蕊受冻,整个花就失去结果的能力。因此,可以通过提高树体营养和选育抗寒品种来有效地抵御春寒,避免因冻害造成大量减产。

2.2 花器官败育 花器官败育是果树花芽形态建成过程中常见的一种现象,包括雌蕊各种程度的发育不全(如花柱细长、弯曲、枯萎短小或缺少)和雄蕊败育(主要是花药退化、无花粉和花粉败育)。中国杏品种雌蕊败育尤为严重。在观察兰州大接杏花芽分化过程中发现,杏进入雌蕊分化后表现出多种雌蕊发育不良和畸变形式,这种杏花畸形与不孕是相关的^[15]。这一现象的揭示,为杏花器官败育原因的分析提供了雌蕊器质性畸变发生时期和形态特征等方面较确切的依据。对平定大红袍杏花器发育状况研究表明,杏树短果枝和中果枝雌蕊退化率低,长果枝雌蕊退化率高,差异

极显著^[26]。花期温度过高尽管开花提前,但加速了花的发育和雌蕊退化,形成较多的败育花^[27]。杏在开花早的季节,不完全花较多,完全花的雌蕊比较小^[28];但在杏Hungary和Romunia的基因型后代中,晚花经常同花芽发育不良相关^[24]。研究结果表明,杏雌花败育一方面受遗传制约,另一方面也与树体营养有关。营养状况的优劣影响不完全花的程度,营养状况好,不完全花少,反之则多。因此,提高树体营养水平,可有效的减少败育花比率。

国外有人认为雄性不育可解释坐果率低的原因。雄蕊败育不能产生有活力的花粉,可能与其遗传起源有关,也可能受环境因素或寄生菌的诱导。在大部分情况下,败育发生在小孢子阶段,花粉粒仅有花粉壁,细胞质缺失或退化^[29]。Medeira^[30]认为雄性不育是因为花粉在末期II胞质分裂异常,绒毡层退化不合时宜,没能溶解前期性母细胞的细胞壁和绒毡层,这些异常使酶或孢粉质的前体不能到达小孢子,阻碍蛋白质合成,导致花粉母细胞减数分裂不正常和雄性不育。

2.3 授粉与受精 授粉试验结果表明,在近2000个杏品种资源中,自交亲和与自交不亲和品种同时存在^[31]。华北生态品种群的品种,多数是自交不亲和的,但也有个别品种类型能自花结实。欧洲生态品种群(包括欧洲、北美、南非及澳大利亚)的多数品种是自交亲和的,但最近几年也发现有一些品种自交不亲和^[32]。Guerriero等^[30]指出,杏品种授粉结实特性是一个很复杂的问题,值得进一步深入调查研究。

果树有效授粉期(Effective pollination period, EPP)受许多因素的限制,其中柱头的接受能力、雌蕊的生理状况和胚的成熟度对EPP的影响最大,这些因素与遗传、环境或栽培条件有很大的关系^[33]。在南地中海的温暖气候条件下,杏树的有效授粉期比较短,正常持续时间是4d,若去雄后6d授粉,坐果率将急剧下降,柱头的感受行为与EPP相似,EPP的限制因素就是短暂的柱头感受性。当气候条件和品种特性使其在去雄6d后仍保持良好的柱头感受性时,其它因素将对EPP起限制作用^[34]。Burgos L等^[35]研究发现,杏(cv. Monique Fino)花期后8d胚珠成熟,在未授粉花中胚珠发育更缓慢,EPP主要被胚囊的快速发育所限制。授粉后缺乏对花粉萌发和花粉管伸长的典型的感受性,也可控制坐果率。另外,最适的授

粉时期并不总与花的开放有关,花期温度过高,加速了花的发育和雌蕊退化,严重限制了有效授粉期^[33]。

缺乏合适的授粉品种也是否结实率低的重要原因之一。一个优良的授粉品种,除了与主栽品种有良好的杂交亲和性之外,还应有良好的花粉生活力^[36]。花粉活力与萌发率呈正相关^[37]。高温处理的花粉其萌发速率比低温下的快,花粉最佳萌发温度范围是 20~ 25℃^[17]。杏花粉在授粉后 2 h 就可萌发进入柱头,50 h 进入子房,授粉后 4 d 受精。受精后不久合子即分裂,4 d 形成小胚珠。杏的雌蕊接受花粉的时间较长,但以开花后 3 d 花粉萌发率较高^[38]。自花授粉时花粉管生长比异花授粉时慢,多数花粉管半途停止生长,仅有少数到达胚珠^[39]。对杏 (cv. *Tokaloglu*) 的试管内自花授粉试验发现,花粉管能很好的萌发,进入并穿透花柱,但花粉管不能穿透胚珠,从而无法受精^[40]。

掌握杏树的授粉生物学特性,有助于生产者在栽培中正确的配置授粉树,创造良好的授粉环境,以保证授粉受精的正常进行,获得高产稳产,也有助于育种工作者在杂交育种时正确的选择杂交亲本和合理的搭配组合,以便得到或更多的得到杂交种子,为实施选择提供丰厚的基础。

2.4 杏自交不亲和的机制 杏自交不亲和品种需要额外配置授粉树,并且要树间传播大量花粉,从而使生产复杂化。由于自交不亲和,一些优良品种产量较低,不能满足市场需求。为此,选育品质优良的自交亲和品种变得越来越重要,育种工作者可以通过品质优良的自交不亲和品种与自交亲和品种杂交,以期培育出品质优良的自交亲和品种满足市场需求。研究杏的自交不亲和的机制,有助于在杏树育种和生产上加以控制和利用。

2.4.1 形态学与遗传学 不亲和性是指可育种子植物在自花授粉(自交不亲和)或异花授粉(异交不亲和)后不能产生合子。不亲和机制发生在花柱内,主要表现为花粉管在花柱内停止生长^[41]。杏柱头产生分泌液,花粉在其中萌发。花柱是固定的,花粉管在广泛分裂和延长的花柱细胞间基质物质中生长。在此过程中,不亲和的花粉管在某些点被抑制,通常可穿透花柱长度的 1/3,然后在顶端裂解。在杏中最通常的情况是花粉管在花柱的 3/4 处受阻,停滞。最近研究表明,杏自交不亲和的机制属于同型的、由单基因控制的配子体不亲和系统,受同一个基因位点(S位点)上的复等位

基因所控制^[42]。自交亲和性等位基因允许花粉管生长于任何花柱中,并到达胚珠。自交不亲和性等位基因当花粉粒和雌蕊呈现出相同的等位基因时,将阻止花粉管生长^[32]。

Burgos 等^[32]对杏自交不亲和性遗传的研究结果表明:① 自交不亲和品种间相互杂交,后代全部为自交不亲和;② 自交亲和品种相互杂交,除了“B69-85×Helena”杂交组合后代全部为自交亲和,其余杂交组合后代分离出自交亲和及自交不亲和两种类型,其比例接近 3:1;③ 自交亲和与自交不亲和品种杂交,当亲本均为杂和时,后代分离出自交亲和与自交不亲和两种类型,其比例接近 1:1,其中“Gitanó×Pepito”杂交组合后代大都为自交亲和,原因是这两个品种有一相同的等位基因,并证明它们有一相同的核酸酶活性带。最近两个杂交不亲和群体已被确定,一个在至少 3 个匈牙利品种间^[43];另一个在美洲杏 Lambertina Goldrich 和 Hargnad 品种间,从其酶谱中发现它们拥有相同的基因型和两条相同的核酸酶活性带,并证明这三个品种 S 基因型都是 S₄S₂^[44]。

2.4.2 分子生物学 自交不亲和的分子机制是分子生物学研究领域的一个热点问题。目前,已从茄科、蔷薇科等多种植物分离到与自交不亲和有关的 S 糖蛋白,由于其具有核酸酶活性,因此 S 糖蛋白也被称为 S-核酸酶 (S-RNase)。Burgos 等^[42]已经在 9 个杏品种中,验明了与自交不亲和基因 (S₁, S₂, S₃ 和 S₆) 和自交亲和基因 (S) 相关联的核酸酶,发现核酸酶同杏的配子体型不亲和相关联,可能是 S 基因的产物。Yaegaki 等^[45]用反转录 PCR (RT-PCR) 从三个梅 (*Armeniaca mume* Sied) 品种分别分离出三个 S-核酸酶的基因 cDNA 的不完全片段 (MSRN 1, MSRN 2 和 MSRN 3)。它们的核苷酸序列与扁桃 (S₁, S₂, S₃)、甜樱桃 (S₂, S₃, S₆) 的 S-核酸酶基因有高度的同源性 (80%~90%)。尽管这三个 cDNA 克隆缺少 N 和 C 末端区,但象其它蔷薇科植物一样,是 S-核酸酶家族的 T2/SRNase 型,有 5 个保守区 (C1, C2, C3, RC4 和 C5) 和一个高变异区 (RHV)。MSRN 1, MSRN 2 和 MSRN 3 在氨基酸水平有高度的同源性 (74%~83%)。它们高变异区 (RHV) 的同源性从 46% 到 69%,说明在梅内 RHV 变异较高。聚类分析表明,蔷薇科的 S 核酸酶基因可区分为仁果类和核果类两个亚类。MSRN 1, MSRN 2 和 MSRN 3 与扁桃和甜樱桃的 S 核酸酶基因聚

簇在一起,同属于核果亚类。用 Northern Blot 分析 MSRN 1 的表达发现其空间表达仅在雌蕊组织上,具有器官特异性。这与苹果^[46]、日本梨^[47]和甜樱桃^[48]上的与 S 核酸酶基因相对应的 mRNA 仅在雌蕊上积累一致,说明 S 核酸酶基因的表达受严格的调控。证实梅至少存在 7 种 S 等位基因,并首次确立了 6 个梅品种 Nankou, Gyokuei, Kairyouchidaume, Baigou, Kagajizou 和 Oushuku 的 S 基因型,分别为 S₁S₇, S₂S₆, S₃S₄, S₅S₆, S₅S₇ 和 S₁S₅。确定杏各个品种的 S 基因型,可以为生产配置合适的授粉树,为自交亲和品种的选育提供科学依据。

2.5 杏自交亲和的分子标记 标记辅助选择 (Marker assisted selection, MAS) 可以进行早期的选择鉴定,提高育种效率,在植物育种上具有重要意义。对植物进行标记辅助选择,首先要找到与所需植物学性状紧密连锁的标记。Tao 等^[49]根据其它核果类果树的 S 核酸酶信息,寻找分子标记来鉴定梅自交亲和品种。他们从 5 个自交不亲和品种和 6 个自交亲和品种分离出的总 DNA,用核果类果树的 S 核酸酶的保守区设计的寡核苷酸引物进行 PCR 扩增,自交亲和品种都有一条 1.5 kb 的带。当其基因组 DNA 用限制内切酶 III 酶切后,用甜樱桃的 S₂核酸酶的 cDNA 进行检测,也都发现一条 12.1 kb 带。该研究表明,梅自交亲和品种有一共同的 S 核酸酶等位基因,可以作为自交亲和的分子标记。通过发现自交亲和等位基因的专一性分子标记,能够对幼苗的表型进行早期鉴定,可以缩短育种进程和节省劳动投入,有效提高杏树的育种效率。

3 结 语

杏树是目前农村种植业结构调整及生态农业建设的理想树种,具有良好的经济、社会及生态效益,因此杏树的发展受到人们的普遍重视。但由于花期低温、花器官败育和自交不亲和等因素的影响,使杏的产量低而不稳,在某些地区甚至出现“十年九不收”的现象。因此,对杏树营养及生殖生物学等问题的深入研究,不仅为杏的优质丰产栽培提供理论依据,同时也为培育优质丰产的杏品种提供参考。

选育自交亲和的优质丰产杏新品种是杏育种的重要目标之一。目前,对自交不亲和的机制研究已取得了一些很好的进展,包括形态学、遗传学和 S 糖蛋白及 S 基因的鉴定等。今后要研究的重点

是杏花粉 S 基因型的研究及花粉的 S 基因与花柱 S 基因的信号识别与传导,这些问题的阐明有助于全面揭示自交不亲和的机制,从而推动杏自交亲和新品种的育种研究。

参考文献:

- [1] 陈学森,李宪利,张艳敏,等.杏种质资源评价及遗传育种研究进展[J].果树学报,2001,18(3): 178~181.
- [2] 张国良,王文凤,杨建民,等.骆驼黄杏幼树的光合特性[J].果树科学,1999,16(3): 224~226.
- [3] Rosati A, De Jong T M, Southwick S M. Nutrition comparison of two apricot cultivars [J]. Good Fruit Grower, 1999, 50: 34~35.
- [4] Viti R, Monteleone P. Observations on flower bud growth in some low yield varieties of apricot [J]. Acta Horticulturae, 1991, 293: 319~326.
- [5] Xiloyannis C, Nuzzo V, Dichio B, et al. Water use efficiency in leaves with different light availability in apricot trees trained to transverse Y [J]. Irrigazione e Drenaggio, 1999, 46: 47~51.
- [6] Nuzzo V, Biasi R, Dichio B, et al. Influence of different seasonal light availability on flower bud quality in cv. Tiryntos (Prunus armeniaca L.) [J]. Acta Horticulturae, 1999, 488: 477~482.
- [7] Dichio B, Celano G, Montanaro G, et al. Leaf area evolution, light interception, yield and quality of fruits in apricot trees trained to transverse Y and vase [J]. Acta Horticulturae, 1999, 488: 527~532.
- [8] Nuzzo V, Dichio B, Celano G, et al. Development of reserves in various organs of apricot cv. Tiryntos trees: effect of radiation [J]. Italus Hortus, 1999, 6: 67~68.
- [9] Watanabe T, Tanabe K, Fukui H, et al. Relation between fruit yield and amino acid and carbohydrate contents of leaves and spurs of Japanese apricot tree [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1990, 59: 341~347.
- [10] Watanabe T, Fukui H, Nakamura M. Total amino acid, soluble sugars, and starch in several aged branches of Japanese apricot tree [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1990, 59 (3): 641~648.
- [11] Vasile Cociu, Leca Mihai. Macro and microelement content in leaves and shoots of some new apricot varieties in relation to crown shape [J]. Acta Horticulturae, 1999, 488: 515~519.
- [12] Bojic M, Milosevic T, Rakocevic L J. Macro and microelement content of leaves of the apricot cv. Roxana grafted on two rootstocks [J]. Acta Horticulturae, 1999, 488: 543~546.
- [13] Joolka N K, Chandel C K, Bhutani V P. Effect of N, P and Agromin on the leaf mineral composition of New Castle apricot Haryana [J]. Journal of Horticultural Sciences, 1990, 19: 50~54.

[14] Solov'eva M. A. Effect of nitrogen nutrition on functional changes and frost resistance of apricot trees [J]. Sadovodstvo i Vinogradarstvo, 1992, 2: 8~ 11.

[15] 李 翀生,黄 郊,霍天喜,等.杏花芽分化观察 [J].园艺学报, 1986, 13(1): 68~ 70.

[16] Garcia E G, Guerniero R, Monteleone P. Apricot bud chilling and heat requirement in two different climatic areas: murcia and the tuscan maremma [J]. Acta Horticulturae, 1999, 488, 289~ 294.

[17] Suzuki N, Wang X, Kataoka I, *et al.* Effects of temperature on flowering and pollen germination in Japanese apricot cv. Nanko [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1993, 62(3): 539~ 542.

[18] Szalay L, Papp J, Szabo Z, *et al.* Variability in the blooming time of apricot varieties in Hungary [J]. Acta Horticulturae, 2000, 538: 139~ 141.

[19] 陈学森,张艳敏,张连忠,等.特早熟杏的育种 [J].园艺学报, 1996, 23 (1): 27~ 31.

[20] 陈学森,高东升,李宪利,等.胚培早熟杏新品种——新世纪 [J].园艺学报, 2001, 28(5): 475.

[21] 陈学森,高东升,李宪利,等.胚培早熟杏新品种——红丰 [J].园艺学报, 2001, 28(6): 548.

[22] Bolat I, Gulcan R (ed.), Aksoy U. The relationship between frost resistance and seasonal changes in carbohydrate contents in flower buds in apricot (cvs. Salak and Tebereze) [J]. Acta Horticulturae, 1995, 384: 323~ 328.

[23] Szalay L, Pedryc A, Szabo Z, *et al.* Dormancy and cold hardness of flower buds of some Hungarian apricot varieties [J]. Acta Horticulturae, 1999, 488: 315~ 319.

[24] Bassi D, Andalo G, Bartolozzi F, et al. Tolerance of apricot to winter temperature fluctuation and spring frost in Northern Italy [J]. Acta Horticulturae, 1995, 384: 315~ 321.

[25] 王 飞,李嘉瑞,陈登文,等.杏花及幼果的抗寒性研究 [J].西北植物学报, 1995, 15(2): 133~ 137.

[26] 解思敏,兰彦平,阎月琴,等.杏花器发育状况对坐果与果实发育的影响 [J].山西农业大学学报, 1994, 14(1): 60~ 63.

[27] Suzuki N, Wang Xin Yan, Inoue H, *et al.* Effects of temperature on fruit development in Japanese apricot cv. Nanko [J]. Environment Control in Biology, 1995, 33: 245~ 251.

[28] Takamatsu Y, Suzuki N. The difference in the development of pistils between early and late blooming Japanese apricot [J]. Memoirs of the Faculty of Agriculture of Kinki University, 1995, 28: 21~ 30.

[29] Guerriero R, Bartolini S, Aksoy U. Flower biology in apricot: main aspects and problems [J]. Acta Horticulturae, 1995, 384: 261~ 272.

[30] Medeira MC, Guedes ME. Flower bud abscission and male sterility in apricot [J]. Acta Horticulturae, 1991, 293: 311~ 318.

[31] 吕增仁,潘哲伟,尹铁民,等.若干杏品种的授粉生物学特性研究 [J].园艺学报, 1992, 19(1): 7~ 10.

[32] Burgos L, Ledbetter C A, Parraga F. *et al.* Inheritance of sexual incompatibility in apricot [J]. Plant Breeding, 1997, 166: 383~ 386.

[33] Burgos L, Egea J, Dicenta F. Effective pollination period in apricot cultivars [J]. Acta Horticulturae, 1991, 293: 275~ 284.

[34] Egea J, Burgos L. Effective pollination period as related to stigma receptivity in apricot [J]. Scientia Horticulturae, 1992, 52: 77~ 83.

[35] Burgos L, Berenguer T, Egea J. Embryo sac development in pollinated and non pollinated flowers of two apricot cultivars [J]. Journal of Horticultural Science, 1995, 70: 35~ 39.

[36] Rodrigo J, Herrero M. Evaluation of pollination as the cause of erratic fruit set in apricot 'Monique' [J]. Journal of Horticultural Science, 1996, 71: 801~ 805.

[37] Mahanoglu G, Eti S, Kaska N, *et al.* Correlations between pollen quality, pollen production and pollen tube growth of some early ripening apricot cultivars [J]. Acta Horticulturae, 1995, 384: 391~ 396.

[38] 张建光,李俊奇.杏授粉受精及胚胎发育观察 [J].河北农业大学学报, 1990, 13(4): 14~ 17.

[39] McLaren G F, Fraser J A, Grant J E. Pollination of apricots [J]. Orchardist of New Zealand, 1992, 65: 8, 20, 22~ 23.

[40] Gulcan R, Askin A. A research on the reasons of unfruitfulness of Prunus armeniaca cv. Tokaloglu [J]. Acta Horticulturae, 1991, 293: 253~ 257.

[41] Egea J, Garcia J E, Egea L, Berenguer T. Self incompatibility in apricot cultivars [J]. Acta Horticulturae, 1991, 293: 285~ 293.

[42] Burgos L, Perez Tornero O, Ballester J, *et al.* Detection and inheritance of stylar ribonucleases associated with incompatibility alleles in apricot [J]. Sexual Plant Reproduction, 1998, 11: 153~ 158.

[43] Nyeki J, Szabo Z. Cross incompatibility in stone fruits [J]. Horticultural Science, 1995, 28: 23~ 31.

[44] Egea J, Burgos L. Detecting cross incompatibility of three North American apricot cultivars and establishing the first incompatibility group in apricot [J]. J Am. Soc. Hortic. Sci., 1996, 121 (6): 1002~ 1005.

[45] Yaegaki H, Shimada T, Moriguchi T, *et al.* Molecular characterization of S RNAse genes and S genotypes in the Japanese apricot (Prunus mume Sieb. et Zucc.) [J]. Sexual Plant Reprod, 2001, 13: 251~ 257.

[46] Broothaerts W, Janssens G A, Proost P, *et al.* cDNA cloning and molecular analysis of two self-incompatibility alleles from apple [J]. Plant Mol Biol., 1995, 27: 499~ 511.

[47] Sassa H, Hirano H, Ikehashi H. Identification and characterization of styles glycoproteins associated with self-incompatibility genes of Japanese pear [J]. Pyrus serotina Rehd. Mol Gen Genet., 1993, 241: 17~ 25.

[48] Tao R, Yamane H, Sugiura A, *et al.* Molecular typing of S-alleles through identification, characterization and cDNA cloning for S-Rnases in sweet cherry [J]. J Am. Soc. Hortic. Sci., 1999, 124: 224~ 233.

[49] Tao R, Habu T, Yamane H, *et al.* Molecular markers for self-compatibility in Japanese apricot (Prunus mume) [J]. HortScience, 2000, 35: 1121~ 1123.